



03084
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO 1
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y DE POSGRADO
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
PROYECTO ACADÉMICO DE ESPECIALIZACIÓN, MAESTRÍA
Y DOCTORADO EN CIENCIAS DEL MAR
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

GEODINAMICA DE UNA PORCION DE LA TRINCHERA MESOAMERICANA CON
BASE EN DATOS GEOFISICOS, GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS EN LA
MARGEN CONTINENTAL DEL SUR DE MEXICO-OCEANO PACIFICO.

TEJIS CON
FALLA LE ORIGEN

T E J I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DEL MAR
(ESPECIALIDAD EN OCEANOGRAFIA
GEOLOGICA)
P R E S E N T A
JOSE HECTOR SANDOVAL OCHOA.

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

CAPITULO	PAGINA
PREFACIO.	1
I. INTRODUCCION.	2
II. ANTECEDENTES.	5
II.1. MARCO TECTONICO GLOBAL.	5
II.2. MODELO GEODINAMICO CORTICAL OCEANO- CONTINENTE.	11
II.3. FOSAS OCEANICAS DE LA TRINCHERA MESOAMERICANA	12
II.4. AVANCES PREVIOS PARTICULARES.	18
III. GEOLOGIA REGIONAL	20
III.1. FISIOGRAFIA.	20
III.2. GEOMETRIA. Aspectos Macroestructura- les	23
IV. GEOFISICA REGIONAL.	26
IV.1. EL MARCO GEOTECTONICO DINAMICO.	26
V. EL PRISMA ACRECCIONARIO.	36
V.1. GEODINAMICA LOCAL.	40
V.2. EL MODELO DE LA TECTONICA EN LA MARGEN CONTINENTE-OCEANO.	44
V.3. ANALISIS GRAVIMETRICO DE ANOMALIAS DE AIRE-LIBRE E ISOSTATICAS	45
V.3.1. Expresión Gravimétrica del Meca nismo de la Subducción por la Anomalía de Aire-Libre.	49
V.3.2. Expresión Gravimétrica del Meca nismo de la Subducción por la Anomalía Isostática	50
V.3.3. Expresión del Desarrollo (Verti- cal y Horizontal) del Prisma Acreccionario.	52
V.3.4. Aspectos Concluyentes e Implica- ciones del Terreno Acreccionario	53

VI.	ARQUITECTURA DE LOS TERRENOS TECTONOESTRATI GRAFICOS CONTINENTALES Y SUBMARINOS	57
VI.1.	EL TERRENO OCEANICO DEL COCO.	59
VI.2.	EL TERRENO MEXICA SUBMARINO	61
VI.3.	LOS TERRENOS SOBRE EL COMPLEJO BASAL METAMORFICO DEL BORDE GUERRERO-OAXACA	63
VI.4.	EL CARACTER ALOCTONO Y PARA-AUTOCTONO DE LOS TERRENOS MARINOS	66
VII.	EL ESTUDIO MORFOLOGICO.	69
VII.1.	METODOLOGIA.	70
VII.2.	GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA MORFOMETRICA	73
VII.3.	APLICACIONES SOBRE LAS ZONAS DE TRAN SICION CONTINENTE-OCEANO	76
VII.3.1.	El Análisis Morfológico del Relieve Continental y Subma rino.	78
VII.3.2.	El Análisis Morfológico de la Plataforma y Taludes Con tinentales.	78
VII.3.3.	El Análisis de las Redes de Drenajes Submarinos y Sub- aéreos.	78
VII.4.	VALIDEZ DEL ENSAMBLAJE MAR Y TIERRA.	79
VII.5.	EL METODO EN LAS MARGENES CONTINENTA LES ACTIVAS.	81
VII.6.	CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE UNA SUPERFICIE	85
VII.7.	CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL RELIEVE.	85
VIII.	REALIZACION	88
VIII.1.	ANALISIS DE RELIEVES.	88
VIII.1.1.	Superficies Teóricas.	90
VIII.1.2.	Superficies Envolventes	97
VIII.1.3.	Estudio de Pendientes	97
VIII.1.4.	Perfiles Seriados	98
VIII.1.5.	Desniveles Maximales.	98
VIII.1.6.	El Estudio Puntual.	100
VIII.1.7.	Estudio de la Rugosidad o Vigor del Relieve	103

VIII.2.	ANALISIS DE VALLES O ENTALLES . . .	104
VIII.2.1.	Estudio de Anomalías de la Red de Valles o Entalles.	106
VIII.2.2.	Sistemas Jerárquicos en las Redes de Disecciones.	108
VIII.2.3.	Geomorfometría de Longitudes de Valles	110
VIII.2.4.	Magnitudes de Redes de Disecciones	115
VIII.2.5.	Caracteres Gráficos de las Redes de Disección.	120
IX.	DISCUSION DE INFORMACION, RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	124
IX.1.	DEL MODELADO DE LA ZONA TRANSICIONAL CONTINENTE-OCEANO	129
IX.2.	DEL ANALISIS DE RESIDUALES.	131
IX.3.	DEL ANALISIS DE MAGNITUDES DE VALLES.	135
IX.4.	DE LA DISTRIBUCION DE ORIENTACIONES ANOMALAS DE ENTALLES.	139
IX.5.	DEL ANALISIS DE RUPTURAS DE PENDIENTES	140
IX.6.	DE LOS RESULTADOS DE LA MORFOMETRIA .	143
IX.7.	DEL SISTEMA DE ESFUERZOS DEFORMANTES.	151
IX.8.	DE LA GEODINAMICA Y RECAPITULACION DE RESULTADOS INTEGRADOS	154
IX.9.	DEL MODELADO Y LA METODOLOGIA ADOPTADA	164
	CONTRIBUCIONES	165
	AGRADECIMIENTOS	166
	BIBLIOGRAFIA.	169
	INDICE DE FIGURAS	180
	GLOSARIO DE TERMINOS USADOS	183

PREFACIO

En el dominio de los bordes de placa activos las estructuras construidas en el reciente geológico, han plasmado la Neotectónica mediante el registro de características que dan expresión a la geodinámica observada en la actualidad. El conocimiento de ésta, necesariamente tendrá que partir del comportamiento del marco tectónico fundamental, apoyado por evidencias y datos integrados de geología y geofísica en cuyos análisis se dá la correspondencia con procesos de evolución geológica bien definidos.

En lo general uno de los objetivos fundamentales de éste estudio consiste en la determinación del Marco Tectónico que reconcilie las ideas de muchos autores, que reponda a la distribución estructural de los Terrenos Tectonoestratigráficos y a su interacción global.

En particular las expresiones, tanto de las deformaciones como de los temblores observados en la Corteza Terrestre, conllevan una información muy importante para el conocimiento de la asociación de los rasgos geomorfológicos activos y sus mecanismos implicados.

A partir de los criterios anteriores, se desarrolla un Modelo Interpretativo que opera en la Región Transicional Océano-Continente, del Sur de Guerrero y Oaxaca. Asimismo, la interpretación se apoya en la integración de resultados de varias disciplinas Geofísicas y Geológicas. Se concreta así, el Modelo de evolución de la región, como una Hipótesis de Trabajo en términos de la Tectónica de Bordes de Placas. La metodología integral se habrá de sistematizar para lograr su aplicación potencial a lo largo de la Margen Continental Circumpacífica de nuestro país.

I. INTRODUCCION

La Trinchera Mesoamericana y la margen continental aledaña en el sur de México son una expresión en la superficie de la faja de transición aparente de corteza oceánica a continental. Se trata de un fenómeno común ubicado a lo largo de la zona de interacción de los bordes de las tres grandes placas corticales: la placa del Caribe y la Norteamericana cabalgantes sobre la Placa de Cocos que es sometida durante la subducción. A lo largo de esta zona se encuentran los cambios bruscos y más rápidos en dirección transversal a la trinchera y, verosímilmente, los menores en el sentido longitudinal.

Una implicación probable de este proceso es la presencia de un arco magmático continental, particularmente en la parte mexicana de la Placa Norteamericana, conocido en el presente como Cinturón Volcánico Mexicano; así como, de efectos de arco insular asociados a la subducción de las placas oceánicas en el presente y en el pasado geológico, Figura No. 1.

Para el desarrollo de este estudio se ha pretendido una revisión exhaustiva de trabajos previos y datos relacionados a la Margen Continental del México meridional. Lo anterior, con el objeto de apoyar un modelo integrado para establecerlo como hipótesis de trabajo en un segmento de esta margen. Tomando en consideración los criterios anteriores se ha buscado la participación de toda información disponible de varias disci-

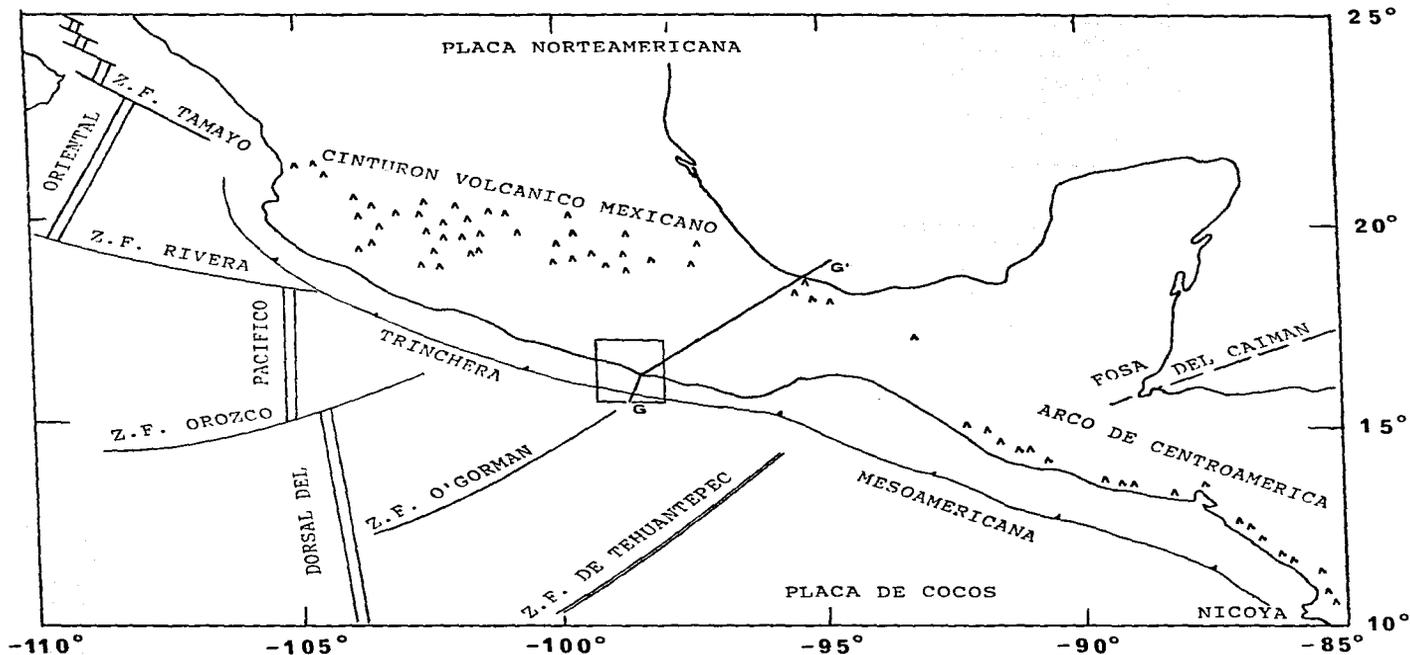


Figura N° 1. Plano de Localización: Area de Estudio Integrado de la Zona Transicional Oceano-Continente, Sección Gravimétrica Regional, La Trinchera Mesoamericana, Zonas de Fracturamientos, Volcanes.

plinas afines y aplicadas en el área bajo estudio. Cada una, por su carácter independiente tiene su contribución particular para explicar el Sistema Geológico Regional. Esta integración de varias disciplinas de las Ciencias de la Tierra y del Mar permite hacer una interpretación global en términos de la tectónica de bordes de placas. Con este estudio multidisciplinario se ha observado que estas expresiones superficiales profusamente acusan las del comportamiento de las estructuras internas y con ello la influencia que pudieran tener en las zonas costeras así como en el interior del país. El análisis regional de este segmento se extiende en dirección a la Planicie Costera en el sur de Veracruz. El análisis de detalle se despliega localmente mediante algunas de las técnicas de Geomorfometría desarrolladas y verificadas en el mar en la última década por la Escuela Francesa, del Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine (IGBA), en Geomorfología, las cuales se bosquejan adelante.

En el desarrollo de este trabajo se plantea tal Metodología por primera vez aplicada en la margen continental de nuestro país, con ello se pretende adaptar y adoptar tal innovación para conocer más de cerca la geodinámica detallada de la tectónica de bordes de placas. Si el modelado hipotético que aquí se propone, opera satisfactoriamente se aplicará sistemáticamente en distintos segmentos discretos a lo largo de la Trinchera Mesoamericana para analizar su comportamiento global en

mayor detalle y en el contexto de otros proyectos de investigación del ICMYL-UNAM*, Figura No. 2.

II. ANTECEDENTES

II.1. MARCO TECTONICO GLOBAL

Ya en los años sesentas Menard (1964) describe las trincheras y arcos de islas asociados, como las estructuras geológicas más activas en la superficie de la Tierra analizadas éstas con casi cualquier criterio; y refiere que es ahí donde ocurren las mayores profundidades, las anomalías de gravedad más pronunciadas, el más extenso vulcanismo, la actividad de focos sísmicos someros más copiosa e incluye casi la totalidad de los terremotos más profundos conocidos e incluso considera la faja de arco de islas y trincheras como el único equivalente moderno de algunos tipos de geosinclinal antiguo.

A escala regional se conocen varias secciones de análisis cortical, tanto de la corteza continental mexicana como del interior de sus mares circundantes. Por razones naturales los diferentes especialistas y autores, sismólogos, geólogos, gravimetrístas y oceanólogos han proporcionado esas secciones como modelos bidimensionales interpretativos de la corteza. Aunque todas y cada una de las secciones tienen su propio valor científico han permanecido aisladas o a lo más integradas a algún estudio particular en la región. Por otro lado,

* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

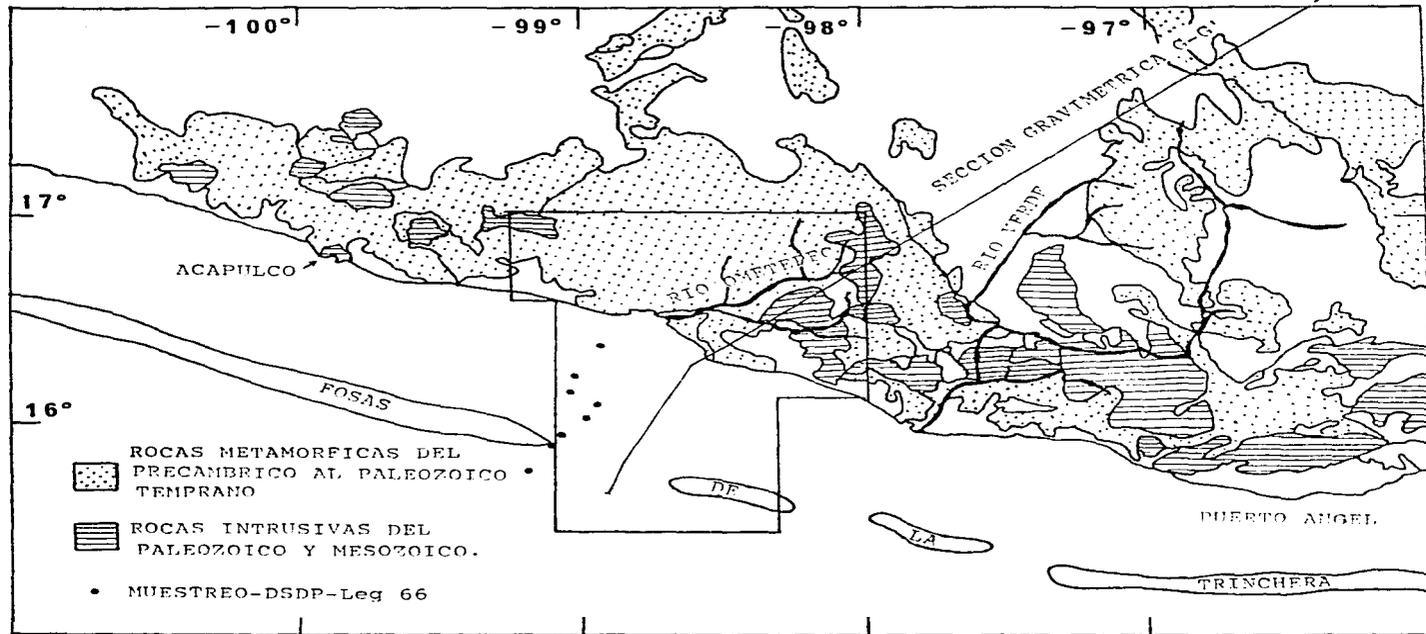


Figura Nº 2. Ubicación del Area de Ensamblaje, de Información de Relieves y Entalles: Submarino y Subaéreo; para el Análisis Morfométrico. Incluye: Línea de Análisis Sismoestratigráfico-Gravimétrico cruzando La Frontera Continental.

los modelos han sido confeccionados a partir ya sea de distintas clases de datos geológicos y geofísicos así como apegadas a distintas teorías geofísico-geológicas como las de la Nueva Tectónica Global, Airy, Pratt, etc. No ha habido una homogeneidad en el tipo de los datos, ni una consistencia en el carácter del tratamiento de ellos en las secciones individuales. Todas estas situaciones son justificables por las consabidas razones naturales inherentes a la investigación en otras disciplinas distintas a las de prospección.

Dicho esto, se puede plantear otro problema aparente, el que surge al buscar un panorama general (i.e. global) de la estructura cortical del territorio mexicano, para analizar su forma, dimensiones y evolución, pues ésta resulta inverosímil por estar apoyado en datos y procesos disímbolos y correlacionando secciones distantes. Lo cual no significa un análisis erróneo sino una síntesis que adquiere relevancia en la medida que haya un seguimiento racional en la revisión desde cada una de las fuentes de información, siempre en el ánimo de ponderar la validez de los datos procesados.

En este sentido, el dominio constante sobre tales seguimien-tos va a garantizar la aproximación al conocimiento de la realidad geológica que, en los mejores casos, quedará bajo los niveles de tolerancias y cuya precisión es en muchas ocasiones absorbida en los trazos de la representación gráfica.

Este trabajo no es la excepción, la parte regional, de análisis gravimétrico continental, de la geología, se apoya en una sección de este tipo, la cual se contempla como válida para ayudar a definir el marco tectónico regional que involucra al área estudiada bajo el fondo marino en detalle.

Otro problema típico en particular se presenta en la porción meridional de nuestro país, a dimensión geotectónica se tienen las inhomogeneidades asociadas a las masas estructurales de la corteza. Estas no permiten por ahora cuantificar algunas respuestas como son, desde el punto de vista regional, las distribuciones de densidades y velocidades de transmisión de ondas P y S_G (Yamamoto, 1986) cuyas supuestas anisotropías reflejan ciertos efectos de atenuación (Q) de la energía sísmica en direcciones preferentes y que también se manifiestan produciendo las frecuentes discrepancias de sismos observados desde observatorios de otra geografía y los observados con estaciones "locales" en el territorio afectado (Astiz-Kanamori, 1984). La región de atenuación de las ondas (P) de acuerdo con Yamamoto (op cit.), debe ser somera, ubicada en la corteza continental, que en alguna porción de la corteza meridional mexicana es relativamente profunda y así está desviando la variación en los datos y parámetros de fuente de los eventos sísmicos.

En una escala más detallada las inhomogeneidades que se presentan en la zona de transición océano-continente aunque teniendo otro origen, ofrecen un enmascaramiento de las estruc-

turas altamente deformadas, cuando los perfiles sísmicos de reflexión multicanal continua, expresan una copiosidad de difracciones acústicas, principalmente en los taludes continentales superior e inferior. La gravimetría presenta gradientes altos muy consistentes ocultando detalles y la magnetometría se manifiesta en esos taludes con cambios muy drásticos cuyos "dipolos" locales son enmascarados en el detalle o bien pierden resolución.

Cuando en esas áreas sometidas en circunstancias críticas las investigaciones con los métodos geofísicos de exploración no aportan los resultados satisfactorios o definitivamente no tienen la capacidad necesaria, se ha sugerido la intervención y complementación de otros métodos, aquellos de reciente innovación, estos son los métodos geomorfométricos de la Escuela antes mencionada.

Estos métodos geomorfométricos se valen de la discriminación de los atributos de diversos caracteres observados en el campo o bien sobre el plano topográfico. El aislamiento y tratamiento individual de una característica, propiedad o parámetro, en particular de una superficie terrestre o submarina, permite extraer la óptima información, su cuantificación y su análisis. Esto solo es posible tomando en consideración las relaciones que guardan con otras características también analizadas por separado y asimismo con las características geológicas propias del terreno tales como las litológicas y estructurales.

Cada método en particular sigue un procedimiento técnico en su aplicación sin perder de vista que las configuraciones topográficas son la expresión superficial de las estructuras internas. Con esos procedimientos se distribuye y se obtiene una información adicional que nos ayuda a interpretar el origen de esas formas estructurales, su geometría, dimensiones, sus contrastes litológicos, su antigüedad relativa y su dinámica actual.

El modelado interpretativo en el área de trabajo del sur de México sugiere la ocurrencia, tanto de un truncamiento y el retiro lateral de algunos bloques corticales o su asimilación debajo del continente, debido a la erosión tectónica, como de un emplazamiento posterior de prismas acrecionales de edad neógena, que parecen ser el resultado de una evidente convergencia de placas y la subducción oblicua de una de ellas con una componente lateral al oriente que produce, en consecuencia, un supuesto deslizamiento de rumbo de falla. Finalmente otro problema, uno de los puntos clave en el entendimiento de la evolución de la margen continental es el conocimiento de los eventos del Mioceno Temprano, el cual aún no está bien determinado en esa región meridional.

El carácter dinámico de un modelo respecto al marco tectónico regional de un sistema de Trinchera-Margen Continental queda determinado principalmente por los mecanismos involucrados en sus estructuras sometidas a esfuerzos, deformaciones y desplazamientos. Ahí la actividad sismológica refleja parte de esa geodinámica en la corteza terrestre.

El modelado de las geometrías, dimensiones y distribuciones estructurales para representar el carácter dinámico del sur de México, comprende necesariamente la ampliación del universo local, es decir, debe relacionar el comportamiento del sistema de Arco Continental como efecto de interacción de las placas tectónicas Norteamericana, de Cocos y del Caribe, así como sus propias macroestructuras que por su gran extensión se les ha venido considerando con movimientos verticales estables y horizontales estacionarios.

II.2. MODELO GEODINAMICO CORTICAL OCEANO-CONTINENTE

Debido a que el sistema de Arco Magmático Continental se extiende aparentemente en forma continua, desde Jalisco hasta Panamá formando parte del Cinturón de Fuego Circumpacífico y siendo el rasgo geológico más grande y activo de México; es asimismo el más importante y apenas conocido de la corteza mexicana.

Sus variados accidentes geológicos han hecho difícil obtener un modelo detallado tridimensional e integrado que sea explícito de la distribución del tectonismo del mencionado Arco Continental. Para superar este problema ha sido imperativo diseñar modelos interdisciplinarios y ajustarse a ellos cuando satisfacen los atributos que le otorga la integración multidisciplinaria. La aplicación sistemática en distintas

porciones estratégicas a lo largo de la región transicional continente-oceano dará un panorama global, nuevo y representativo del detalle.

En este trabajo se ha intentado elaborar un modelo con tales características por medio de un estudio como el que aquí se propone. Se espera que éste aporte resultados positivos y más confiables en el detalle y así posibilitar el planteamiento de nuevas ideas en cuanto a la evolución geodinámica de esta porción continental y sus regiones marinas adyacentes. Así entonces, en términos de su evolución en el pasado geológico y dadas las condiciones geodinámicas del presente del sur de México se podrá dilucidar sobre el comportamiento actual de algunos rasgos geológicos activos.

Se espera también, que el modelado será de utilidad como marco de referencia analítico para elaborar una hipótesis de trabajo y eventualmente en la aplicación de otros estudios acordes con el comportamiento geodinámico de la región y su extrapolación al futuro inmediato.

II.3. FOSAS OCEANICAS DE LA TRINCHERA MESOAMERICANA

La Margen Continental y la Trinchera Mesoamericana en el sur de México, así como sus morfologías en términos generales han sido estudiadas con mayor asiduidad desde los años sesentas,

(Fisher, 1961; Shor y Fisher, 1961; Ross y Shor, 1965; Karig, 1974; Karig et al., 1978, etc.).

En particular Karig (1974) apoyado en trabajos previos ha hecho una revisión exhaustiva de un rasgo común muy característico de las margenes continentales en convergencia de placas, es decir, el concepto de erosión tectónica como uno de los efectos más importantes del fenómeno de subducción en la placa cabalgante y lo sometió a un análisis de validez contra los fundamentos de la información y datos hasta entonces conocidos de las estructuras de trinchera y su morfología; tales como las margenes alrededor del Pacífico: Las Marianas, Nuevas Hébridas, Ryukyu, Sumatra, Aleutianas, Luzón, Shikoku, Japón, Sudkermadec, Centroamérica y México.

Las fosas a lo largo de la Trinchera Mesoamericana, son resultado del acolvamiento parcial en ciertos segmentos tal como la describió Fisher (1961). Esta, se extiende desde las Islas Tres Marías al W de México hasta la Isla del Coco al SW de Costa Rica. Es continua en profundidades mayores a 4,400 m en 2,355 km, excepto en las afueras de Manzanillo y Zihuatanejo, México, donde hay montañas submarinas en la trinchera. Es más profunda por debajo de los -5,500 m en 700 km de la Fosa de Guatemala. Del SW de Acapulco al lado W del Golfo de Tehuantepec, la trinchera se hace menos profunda en una serie de cuencas a -5,000 m. Hacia el SE la fosa se ensancha y se hundec abruptamente hasta una profundidad máxima de 6,400 m fuera en el W de Guatemala.

Sobre la Trinchera de Perú y Chile, Scholl y otros (en Karig, 1974) apoyados en perfiles de reflexión sísmica, entre la costa y la trinchera, proyectan el basamento continental hacia el mar por debajo del talud interno de la Trinchera y no encuentran deformación en los sedimentos del eje de la fosa o en el talud inferior de la Trinchera. Asimismo, al sur de México, Karig (op. cit.) considera que "el marco geológico a lo largo de la costa central-W, cerca y lejos de costa, es completamente semejante. El truncamiento tanto del Mesozoico y las tendencias metamórficas más antiguas, como de los plutones de dimensiones batolíticas del Cretácico Tardío se observan a lo largo de la línea de costa y efectivamente indican que la corteza continental ha sido removida en esta región, sin embargo no hay evidencia de datos geofísicos marinos indicando que hoy esté siendo subducida en la Trinchera". Así también, en otro trabajo ha reportado que el talud interno de la Trinchera Mesoamericana exhibe una división típica que consiste en un talud inferior más empinado, acústicamente opaco y un talud superior cubierto de sedimentos. En otro aspecto, refiere a Shor y Fisher (1961, op. cit.) quienes con una combinación de datos gravimétricos y de refracción indican que existe una suma importante de baja densidad y baja velocidad probablemente de material sedimentario que infrayace a la pared interna de la trinchera.... "La comparación con otros sistemas de arco, algunos de los cuales tienen un cuerpo acrecionario que se puede demostrar, indica que el acrecentamiento está

ahora ocurriendo a lo largo de la Trinchera Mesoamericana y que se ha desarrollado un pequeño prisma de material acumulado. En la mayoría de estos sistemas es común la presencia de un quiebre estructural y morfológico que separa al material acrecionado de un terreno continental más antiguo y es interpretado como un remanente de un talud insular o continental más antiguo que existió antes de que la presente subducción y acrecentamiento comenzaran. En México éste quiebre es también el borde de un rift a lo largo del cual fué removida la margen continental". Finalmente Karig (1974, op. cit.) reporta que muy probablemente el proceso responsable del dislocamiento de esos recortes en los extremos continentales es la subducción oblicua, la cual causa la transferencia con la componente lateral de deslizamiento de rumbo en la subducción hacia otras zonas dentro del sistema de arco.

Años más tarde Karig y otros (1978, op. cit.) identificaron un cambio muy grande en el sistema de arco de América Central que se presenta donde el Promontorio de Tehuantepec intersecciona a la trinchera. "Al NW de esta intersección, el talud interno de la trinchera es angosto, con un pequeño pero bien definido quiebre talud a trinchera, así como una acumulación sedimentaria del talud superior. En contraste, al SE de esta intersección de Tehuantepec una plataforma continental amplia sobre yace a una cuenca (del frente de arco) rellena de sedimento en el talud superior". (Ross y Shor, 1965; Seely et al., 1974; en Karig et al., 1978 op. cit.).

Al W del cruce de la trinchera con el Promontorio de Tehuantepec se encuentran las mayores cuñas de turbiditas del piso de la trinchera, atribuidas sobre todo a la mayor área de drenaje tierra adentro del sector NW donde el parteaguas continental se localiza más allá de los 300 km. Al sur (y oriente) de la intersección de Tehuantepec el parteaguas continental se ubica rara vez más allá de los 50 km, asimismo el drenaje en consecuencia. La rapidez de subducción se incrementa hacia el SE desde 6.5 cm/año aproximadamente, del punto de unión triple de Rivera hasta 9 cm/año cerca del punto de unión triple de la placa de Cocos, el Caribe y Norteamérica (Molnar y Sykes, 1969; Larson y Chase, 1970; en Karig et al., 1978) este cambio podría tener una influencia sobre relleno en la trinchera, aditivo, aunque de menor magnitud.

En el caso particular de la Placa de Cocos, se tiene de ésta una nueva interpretación en el comportamiento subductivo, producto de un análisis de la geometría resultante de la sismicidad bajo el territorio mexicano. Suárez et al. (1991) proponen, en un modelo de esta placa tectónica, el inicio de la subducción con un ángulo somero por debajo de la Placa Norteamericana hasta una profundidad de 40 km aproximadamente, alcanzando un ángulo de buzamiento de 12° ; de ahí en adelante, la placa dobla hacia arriba y recupera su trayectoria horizontal extendiéndose bajo el continente a una profundidad de 50 km aproximadamente.

No obstante, las limitaciones operacionales e instrumentales, los datos de los sismos mexicanos exhiben un registro continuo a lo largo de más de tres cuartos de siglo. Con muchos de estos datos, ha habido estudios sismológicos cuyos resultados han normado los criterios generales del conocimiento de la sigmicidad en México. Así, se han publicado muchos trabajos sobre las características sismológicas de algunas provincias en el país. Estas regiones han sido particularizadas y clasificadas según una distribución espacio-temporal de terremotos que en ellas ocurren. Otras clasificaciones se han elaborado por razones bien conocidas en atención a los efectos y sismicidad de áreas con grandes asentamientos humanos, y por así expresarlo, esas mismas áreas sísmicas han sido determinadas bajo la influencia de una mezcla de variados eventos sísmicos locales y regionales, someros y de profundidad. Aunque muchas veces los eventos sísmicos han sido reportados en asociación con movimientos en la corteza terrestre, ha habido pocos trabajos cuya clasificación haya sido elaborada en términos de la génesis o naturaleza de los temblores, de hecho aquellos viejos trabajos y estos nuevos trabajos muestran algunas inconsistencias metodológicas. Sin embargo, no se puede negar que la gran mayoría de estos artículos publicados ofrecen información relevante de los conceptos de la sismología mexicana e incluyen abundantes referencias de la historia sismológica del país. Así por ejemplo, algunos estudios relevantes han sido reportados por Figueroa A. (1970), Lomnitz (1974), Singh et al.

(1981-1982), Yamamoto (1986). Algunas tesis profesionales y de grado han reportado análisis de terremotos particulares o asociados, basados en mecanismos focales o enjambres de temblores. Muchos de estos trabajos han aportado resultados e interpretaciones que pueden relacionarse en una revisión capaz de integrar la información diseminada y que pueden ofrecer significativas contribuciones a los estudios de revisión integral con reevaluaciones hipocentrales sistemáticas.

II.4. AVANCES PREVIOS PARTICULARES

Los resultados de los trabajos sismológicos y de otras disciplinas de la Geofísica y la Morfología ofrecen proveer mediante una integración, la información necesaria para nuevas interpretaciones del modelado que se presenta. Así la interpretación basada en la dinámica y geometría del modelo correspondiente a la tectónica de la región, revelará aspectos de la evolución histórica tanto para nuestros días como para su pasado geológico.

En las primeras etapas de este estudio se ha recolectado, recopilado, organizado y analizado información geológica, geofísica y topográfica de áreas continentales y marinas del sur de México. Las fases siguientes han comprendido correlaciones y revisiones detalladas de regiones particulares basadas tanto en una síntesis de resultados e interpretaciones afines,

así como en la hipótesis de trabajo apoyada en el modelo gravimétrico diseñado y calculado para este propósito del ambiente tectónico y dinámico.

En esta ocasión se ha bosquejado un modelo que concuerda con la geodinámica del sur de México en base a un estudio integrado de Ciencias de la Tierra y el Mar sobre las estructuras geológicas, del borde de placas y su evolución tectónica en la región. El proyecto se inició con la revisión cuidadosa de datos e información hasta el momento publicados, tanto de la geología del área como de su sismología en sus variados aspectos observacionales y de exploración. El estudio multidisciplinario parte de un análisis de las expresiones gravimétricas de carácter regional y otro local combinado con el análisis morfoestructural.

El análisis de la gravedad local se ha apoyado en la elaboración de un modelo de detalle tridimensional de las estructuras geológicas asociadas a los Terrenos Tectonoestratigráficos y con ello la delimitación de los rasgos morfológicos más característicos. En estas condiciones y de acuerdo con los resultados interpretativos de los datos gravimétricos y geomorfológicos, queda definido el marco tectónico fundamental cuya geometría y distribución en cuerpos tectonoestratigráficos facilita el estudio de cada Terreno Geológico y sus estructuras asociadas en base a ese análisis morfoestructural. De esta manera, los resultados de los análisis con el modelo definen el carácter tectónico actual de la región.

III. GEOLOGIA REGIONAL

III.1. FISIOGRAFIA

El área de estudio marino-continental se encuentra enclavada en la porción media de la así llamada Costa Chica sobre el límite estatal de Guerrero y Oaxaca. Asimismo, en la Planicie Costera del Pacífico, en la vertiente oceánica de la Sierra Madre del Sur. La planicie es una estrecha faja de tierra a la cual está adosada la breve plataforma continental submarina y que ambas, como una sola y larga unidad, se extienden entre las desembocaduras de los ríos: El Balsas al occidente, en la zona Limitrofe de los estados de Guerrero y Michoacán y el Río Verde al oriente, en el estado de Oaxaca.

Este rasgo fisiográfico de planicie y plataforma del continente y el océano, entre las curvas de nivel de -100 m y de +100 msnm, tiene un ancho de 20 km y dilata esta anchura, tanto hacia el continente como hacia el océano, hasta unos 50 km en las inmediaciones de Punta Maldonado. Al norte la porción alta, ya en la Sierra Madre del Sur las alturas alcanzadas por los picos rebasan los 2,000 msnm. Al sur la baja porción submarina desciende hasta poco más de 5,000 msnm en una de las fosas de la Trinchera Mesoamericana, Figura Nº 3.

El relieve de la Planicie Costera es suave con una ondulación dada por una sucesión alternante de planos aluviales y hondanadas o vados, amplios y someros, que también son acusados por la ocurrencia de las lagunas marginales, los esteros palustres y bahías. De lo alto hacia abajo la planicie y platafor

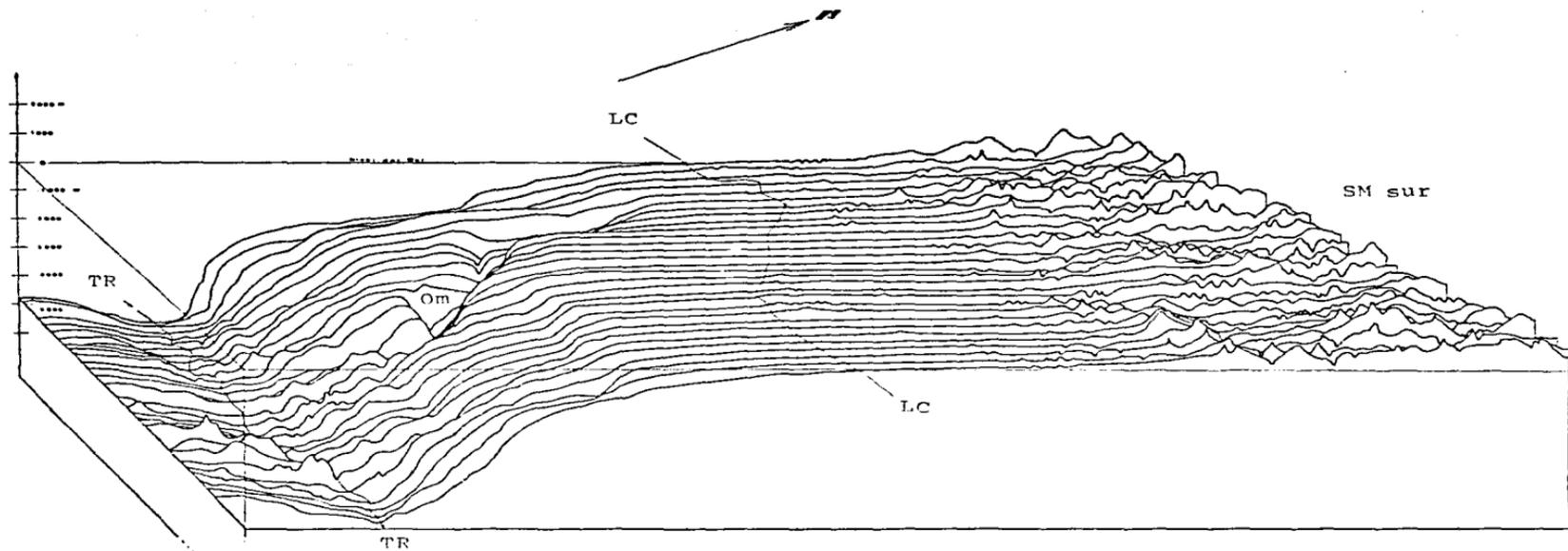


Figura N° 3. Vista Tridimensional, hacia el Occidente, del Relieve Submarino y Subaéreo dado por Perfiles Seriadados para el Análisis de Rupturas de Pendientes. Se muestran: La Trinchera (TR), El Cañón de Ometepec (Om), La Línea de Costa (LC) y la Sierra Madre del Sur.

ma continental sigue a un plano con ondulaciones como se ha mencionado, cuyos bajos, que parecen vertir hacia el mar, conforman a las lagunas cerradas con isla barras que a su vez son conformadas por el oleaje y las corrientes a lo largo de la costa y por tanto, definiéndose como una costa dominada principalmente por oleaje y una componente de corrientes a lo largo de la costa. La planicie también presenta notables interrupciones por elevaciones montañosas asociadas a la vertiente de la Sierra Madre del Sur en su descenso hacia el mar, a veces acantiladas. La elevación montañosa al norte de Punta Maldonado tiene una prolongación submarina asociada al Banco (batimétrico) Tártaro, siendo la forma cuspada de Punta Maldonado una expresión de su cresta (i.e. identificado en este estudio, como un alto estructural).

Así, el área muestra un aspecto fisiográfico expresado por sus rasgos topográficos, batimétricos y de drenaje que la definen en las etapas de Juventud tardía y Madurez temprana del Ciclo Geomórfico de Fairbridge (1968) con sistemas de drenaje de afinidad subdendrítica, asimismo el entalle submarino con cañones, valles y surcos que desembocan en la Trinchera presenta una distribución subparalela (clasificación de Howard, 1967) e influenciados por tectonismos regionales.

Afuera del área estudiada los aspectos fisiográficos regionales y globales quedan definidos por las macroestructuras corticales: en tierra firme, al norte, un partecaguas delimita la vertiente septentrional de la Sierra Madre del Sur que forma parte de la Cuenca del Río Balsas que a su vez drena hacia el occidente al Océano Pacífico, que aunque con un relieve menos pro-

nunciado define un drenaje más complicado. Al noreste se tiene un segmento del Partaguas Continental que deslinda las estructuras mayores que dan forma a las cuencas del Río Papaloapan y de Veracruz.

Bajo el océano, se encuentran los taludes continentales superior e inferior, las fosas de la Trinchera Mesoamericana con rellenos sedimentarios, la presencia del Cañón de Ometepe el cual corta los taludes de manera transversal y tan profundamente que sugiere un corte de dimensión cortical y asimismo, la incidencia oblicua a la Trinchera, de la Zona de Fractura de O'Gorman Este (SMN, 1987).

En conjunto, todos estos rasgos parecen ser aún la expresión morfológica de la superficie terrestre en la región para la Epoca Neógena y que se manifiesta similarmente a lo largo de la Margen Continental desde Jalisco a Oaxaca, la cual define una costa de empuje por convergencia de placas definitivamente acompañada como en otros segmentos, de una acumulación secuencial de cuñas sedimentarias que conforman un prisma acrecionario activo aparentemente desde el Neógeno.

III.2. GEOMETRIA

Aspectos Macroestructurales

Descritos, en la superficie submarina y subaérea, los grandes rasgos geomorfológicos que gobiernan la fisiografía del área

estudiada, correspondería hacer ahora un planteamiento de los grandes rasgos estructurales esperados. Es decir, dado un panorama de rasgos geométricos observados en la superficie tales como: Puntos (ubicación de evidencias, hipocentros, cotas hiposométricas, intersecciones, etc.); Líneas (direcciones, rumbos, trazas de falla, tendencias, gradientes, etc.) y Areas (localización de dominios, afloramientos, etc.) corresponde bajo la superficie, analizar los rasgos en el espacio soterráneo: Líneas (intersección de superficies, lineamientos, ejes y tendencias, etc.), Areas (superficies de contacto, interacción o influencia, etc.); Volúmenes (subespacios de distribución de efectos, dominios de influencia, etc.). Todos son grandes rasgos que se pueden dimensionar mediante los parámetros más indicados y en las escalas adecuadas. Las representaciones gráficas siempre se han hecho en el Plano y en secciones transversales planas, lo cual ha satisfecho las necesidades de las interpretaciones del comportamiento en la superficie de la corteza sólida. Sin embargo, el problema global no ha sido completamente resuelto, aunque de la región se ha dicho que "las características de la subducción en el área en estudio están bien documentadas" y que también se ha dicho que "los estudios previos han detallado la estructura y la batimetría de la trinchera y el fondo oceánico"; lo mismo se ha dicho del proceso acrecionario en varias partes de la margen, (Seely et al., 1977; Karig et al., 1978; Moore et al., 1979; Von Heune, et al., 1980; Shipley et al., 1980; Abouin et al., 1982; En

Le Fevre et al., 1985), vulcanismo, sismicidad e historia de deslizamiento sísmico y geometría de la zona de Benioff. Esta recapitulación significa la pauta a continuar las investigaciones, pero ahora con una metodología de integración interdisciplinaria más exhaustiva.

Retomando la abundancia de grandes rasgos lineales en el Plano y en las secciones transversales se tiene la imagen de una realidad que constituye un buen documento de trabajo, que no se va a cambiar. Por estos motivos la forma y rotación de la tierra en la mayoría de los trabajos previos no se han tomado en cuenta, a no ser para la evaluación de velocidades de interacción de placas sobre un casquete esférico, sin embargo a profundidades mayores, en el interior de un sector esférico las condiciones físicas del interior terrestre son totalmente diferentes, presiones por carga de roca que no existían afuera, cambio de polaridad en los esfuerzos, cambio de sistemas de esfuerzos, de semiespacios a espacio total, de ciertas condiciones a la frontera a otras, cambio en el régimen de temperatura y flujo de calor, evidente transferencia de masa (y energía), volúmenes, si estáticos, sujetos a gradientes de compresión y torsión diferentes en distintas direcciones; en el interior, algunos rasgos lineales se curvan, los planos se alabean, se tuercen, se comban, se fracturan y seccionan; los volúmenes se distorsionan.... y en el Plano no se manejan las proyecciones sobre éste de aquellos rasgos sumergidos. Una proyección errónea no solo transgrede al espacio, sino también al

tiempo, ya sea en microescala para medir un deslizamiento o en macroescala para medir la duración de un evento en el pasado geológico.

IV. GEOFISICA REGIONAL

IV.1. EL MARCO GEOTECTONICO-DINAMICO

La Trinchera Mesoamericana, la línea de costa regional, el lineamiento que sigue el quiebre (ruptura) de pendiente de talud-plataforma continental, los ejes de la Sierra Madre del Sur, la orientación del Cinturón Volcánico Mexicano, el promontorio de Tehuantepec y la Zona de Fracturamiento O'Gorman son los rasgos aparentemente lineales tectónicos sobre la superficie, pero en realidad son curvos sobre el casquete cortical esférico y por ello describen las trazas de superficies y planos alabeados de las macroestructuras internas. El mayor rasgo geotectónico para estas latitudes parece ser la cima de la Placa de Cocos subductiva, lo cual manifiesta su geodinámica en su máxima expresión cuando se pone en contacto con las obductivas placas del Caribe y Norteamérica con una orientación relativamente oblicua y con una rapidez superior a la normal.

En la región se presenta el fenómeno de la subducción de una placa joven con una rapidez de convergencia alta con impulsos periódicos en respuesta a liberación de esfuerzos tanto en distintos lugares como en tiempos y cuyas distribuciones se han asociado a la rugosidad de las superficies en contacto, y a

la rigidez y homogeneidad de los materiales sometidos a esos esfuerzos y aún a efectos de flotación diferencial. Siendo así que se han determinado tramos o brechas de quietud o silencio sísmico, así como regiones de actividad sísmica diferente y se han determinado también ciertos lapsos de recurrencia de eventos sísmicos para la misma localidad, valores que para la región oscilan entre 32 y 56 años. Por ejemplo, para la región de Ometepec se consideró una brecha sísmica desde el último temblor grande que ocurrió por 1950 (Singh et al., 1981) y el mayor temblor se presentó con el "doblete" de Ometepec del 7 de junio de 1982.

La orientación estimada de convergencia en el área es de NE 37° con una rapidez de 7 cm/año aproximadamente (Minster y Jordan, 1978). La edad de la corteza oceánica en esta región es menor de 45 Ma. (Mammericky y Klitgord, 1982; en González Ruiz, 1986) y tiene aproximadamente 24 km de espesor con un ángulo de buzamiento de 13° (Castrejón et al., 1984) al menos al inicio de la flexión.

En términos generales la edad de la litósfera subductiva y su velocidad de convergencia son dos parámetros que tienen una influencia determinante sobre el tamaño y geometría de la Zona de Benioff (Isacks et al., 1968; Vlaar y Wortel, 1976; Wortel y Vlaar, 1978; Molnar et al., 1979; Ruff y Kanamori, 1980; en González-Ruiz, 1986). Haciendo uso de temblores de profundidad intermedia, Fujita y Kanamori (1981) en: González Ruiz, 1986) inves

tigaron los esfuerzos dentro de la placa en zonas de subducción, con base a esos dos parámetros. Sus resultados se resumieron proponiendo cuatro grupos generales de regímenes de esfuerzos. De acuerdo con su nomenclatura, el grupo I considera placas antiguas y lentas en las cuales predomina el estado de tensión; la placa tiende a hundirse con una velocidad cuya componente horizontal es mayor que la velocidad de convergencia. El grupo II considera placas antiguas y rápidas, en las cuales existe un estado de esfuerzos mixto, sin que exista compresión o tensión predominante; las placas de este grupo exhiben zonas de Benioff dobles. El grupo III considera placas recientes y lentas, en las cuales también está presente un estado de esfuerzos mixto, debido a que las placas jóvenes son más delgadas y menos rígidas que las placas antiguas, es posible encontrar partes de estas bajo compresión o bajo tensión sin que exista compresión o tensión en el mismo segmento. El grupo IV considera placas recientes y rápidas, en las cuales el estado de tensión podría ser debido a que la litósfera oceánica es impelida a sumergirse por la placa que se encuentra arriba. Por las características antes expuestas, la zona de subducción de México pertenece a este último grupo. La placa de Cocos es, como ya se refirió, joven y rápida con intervalos de recurrencia cortos y con aquello sería una placa más flexible y (menos rígida) que permitiría una menor resistencia a la rugosidad en la zona de rozamiento y simultáneamente permitiendo mayor inhomogeneidad por fracturamiento en el interior de la placa obductiva.

Novelo (1980) después de Hanus y Vanek (1978) hizo una revisión de la sismicidad alrededor del Istmo de Tehuantepec. En esa región estudiada se ubica, hacia el occidente, el bloque de Oaxaca que enmarca una zona limitrofe de la sismicidad. En la porción occidental de ella se encuentran los eventos sísmicos menos profundos (profundidad máxima aproximada de 120 km) que bajo la porción oriental, donde los hipocentros se ubican aproximadamente a unos 250 km de profundidad y refiere también que los estudios realizados previamente no han reportado actividad sísmica alguna en la cresta submarina de Tehuantepec. Asimismo, refiere a Wilson (1963 y 1965) quien propuso que las "crestas submarinas asísmicas marcan el rumbo de movimiento de las placas sobre el manto. Esta idea fue extendida por Morgan (1971), quien sugirió que las crestas son el resultado del movimiento de las placas sobre puntos calientes (hot spots) fijos en el manto. Herron (1970) hizo estudios de magnetismo en la parte Central Este del Pacífico entre los paralelos 20°N y 45°S, donde encontró anomalías que identificó como los sitios de los hot spots aportados por los investigadores anteriores y sugirió que la Cresta Submarina de Tehuantepec posiblemente refleja el movimiento de la placa de Cocos". Mientras que en otro lugar describe que, "observando la dirección obtenida de la placa y las características de la tectónica de la región se puede decir que esta placa sigue la dirección de la cordillera submarina de Tehuantepec. Esto se observa claramente puesto que la posición del plano que con-

tiene la zona sísmica es paralela a la cordillera. Este resultado parece comprobar la hipótesis de Wilson (1963, 1965)". Finalmente concluye que debido a que los contornos de igual profundidad para los sismos de su área estudiada, se encuentran más cercanos a la trinchera que los existentes hacia el NW del área bajo el bloque de Oaxaca, e infiere que la placa de Cocos está flexionada o segmentada como ha sido propuesto por Dean y Drake (1978) y que el rumbo de entrada de la placa N 45° E quizá esté relacionado con el de la Cordillera Submarina de Tehuantepec en $\pm 2^\circ$. Esta geometría está de acuerdo con las observadas en otras partes del mundo (Oliver et al., 1973; en Novelo, 1980).

Así, la Zona de Fracturamiento O'Gorman que se encuentra en la porción intermedia y es paralela entre la Cordillera Submarina de Tehuantepec que está al sur y la Zona de Fracturamientos Orozco al Norte, sugiere aparentemente el mismo fenómeno bajo el bloque de Guerrero. Es también un rasgo perteneciente al sistema de fallas transcurrentes de la porción este de la Placa de Cocos, inactiva sísmicamente, con incidencia oblicua a la trinchera y que también aparenta un paralelismo con el otro plano que contiene la prolongación hacia el occidente, de la zona sísmica del Istmo, ahora bajo el bloque de Guerrero, como se ilustra en las Figuras Nos. 1 y 22.

Un estudio de sismología de refracción de Helsley et al. (1975) con tiros disparados desde un lago cercano a Puebla y desde el Océano Pacífico frente a Pinotepa Nacional, "en la región del

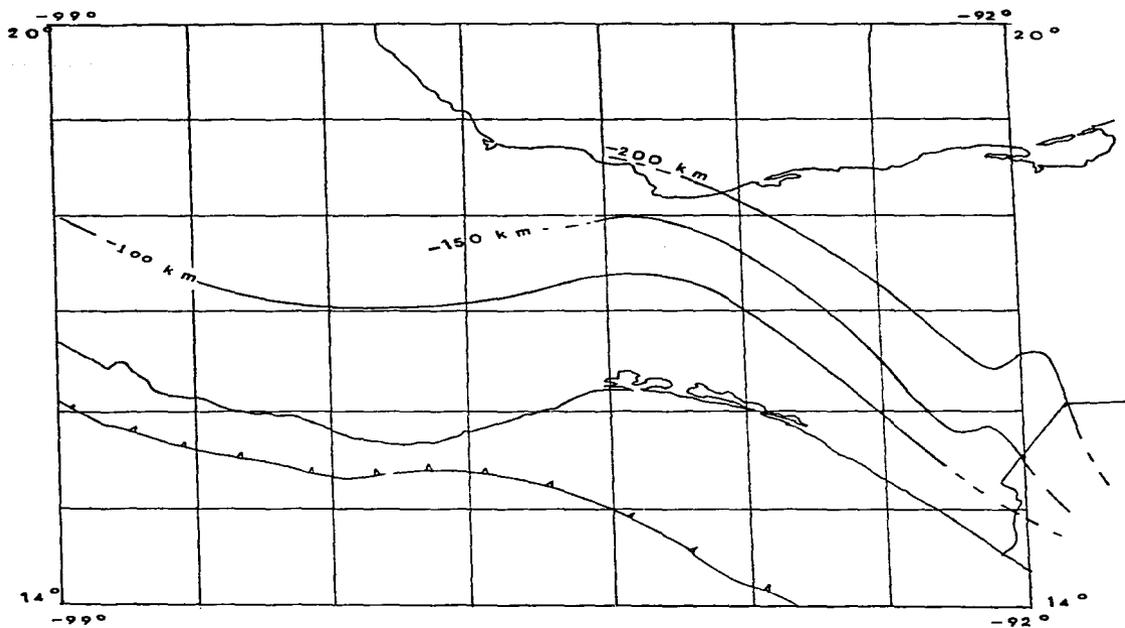


Figura N° 4. Configuración de Líneas de Igual Profundidad de la Placa Subductiva del Terreno Oceánico del Coco. Según Hanus y Vanek, (1978).

altiplano del centro de México se indicó un cuerpo de corteza continental de 3 capas de cerca de 50 km de espesor y que decrece hacia un cuerpo de 2 capas de unos 30 km de espesor cerca de la costa. Con los tiros disparados desde el mar en la faja de 50 a 100 km medidos desde la costa se observó una alta velocidad aparente anómala de 10.5 a 15 km/s, la cual parece ser una medida del echado de la placa que entra debajo de la trinchera con 12° aproximadamente en este caso".

Posteriormente, en un trabajo de sismología de refracción también de amplia apertura de 3 líneas de levantamiento, en el Estado de Oaxaca, Nava P. et al. (1988) han reportado los resultados preliminares que indican cambios en el espesor de la corteza continental a lo largo de la costa. Cerca de Pino tepa Nacional, Oax. se evaluó un espesor de 23.5 km al NW y 19 km al SE de esa entidad, el cual continúa disminuyendo hacia el E hasta unos 15 km de espesor a unos 140 km al NW de Puerto Angel. Cerca de esta misma localidad y el límite entre los Estados de Guerrero y Oaxaca se calculó el buzamiento de la subducción de la placa de Cocos, la cual se aproxima a los 14° (Stewart et al., 1981: en Nava et al., 1988). La sección costera según estos autores, tiene una estructura que consiste en dos capas, una superior con velocidades de onda P que varían de 5.1-5.4 a 5.8-6.0 km/s y otra inferior donde la velo ci dad P varía de 6.0-6.2 a 6.3-6.4 km/s que sobreyace a un material de velocidad de onda P de 7.45 km/s. De esa sección también reportaron que bajo la línea Punta Maldonado a Puerto

Angel, en las inmediaciones de la longitud $97^{\circ} 45'W$ corresponde de una zona que diferencia las regiones de espesor de corteza continental gruesa (o de mayor buzamiento) en el noroeste y una región de espesor de corteza continental delgada (o de menor buzamiento) en el sureste y asimismo, les asocian dos regiones sísmicas diferentes. La región sísmica de Pinotepa Nacional-Jamiltepec; al noroeste, caracterizada por muchos eventos pequeños frecuentemente complejos; mientras que la región de Huatulco-Puerto Escondido hacia el sureste está caracterizada por eventos grandes y simples (Núñez y Ponce, 1984: en Nava et al., 1988).

En otro aspecto de la sismología observacional de temblores naturales, E. Zenteno (1982) en una revisión regional y exhaustiva de valores de "b" en base a un análisis de sismos de 1963-1981 de la Red Mundial Sismológica reportó que para la Margen Continental del sur de México, desde Colima a Chiapas, se tiene que, en términos generales, este valor aumenta en la dirección hacia el SE, asimismo con la proximidad al Eje de la Trinchera para temblores someros (0-60 km de profundidad).

De acuerdo con Mogi (1963) y Zenteno (1982) en particular para la zona limítrofe de Guerrero-Oaxaca en este trabajo se observó que "b" adquiere una variación de 1.23 a 1.45 consistente también con aquella regional para eventos sísmicos someros. Siendo este intervalo de valores de "b" lo suficientemente "altos" en la localidad respecto a la región, es posible caracte

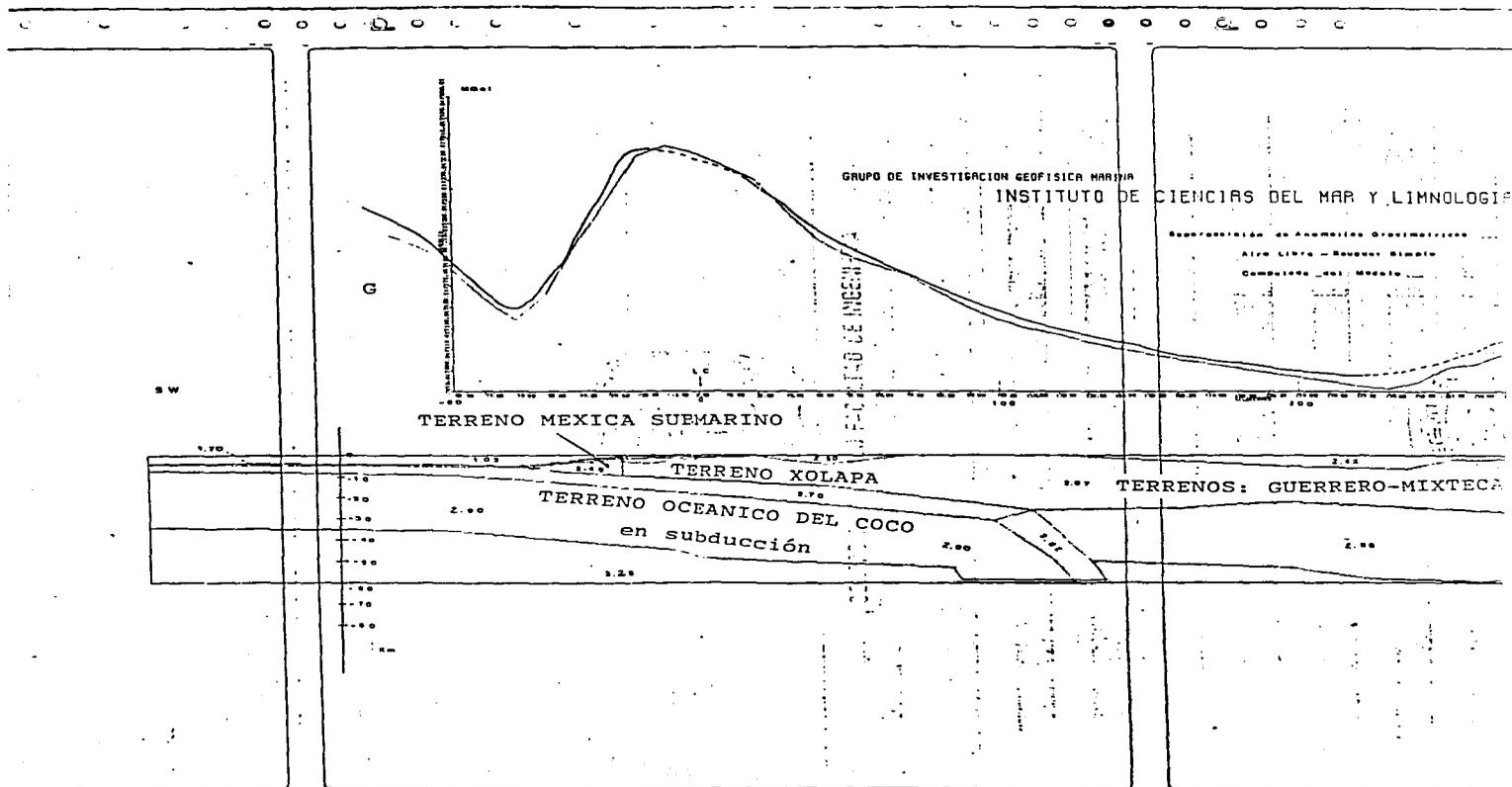
rizar, a este segmento de esta Margen Continental, de muy heterogénea. El fracturamiento o deformabilidad de suyo en los distintos materiales, presenta relativamente mayor heterogeneidad en su media porción oriental que la occidental. Esto significa que el Cañón Submarino de Omtepec reposa acumulando energía y aceptando deformación sobre la placa subductiva y manifestando mayor homogeneidad tectónica que su porción oriental, cuya mayor actividad (i.e. rugosidad) la conlleva en la prolongación sometida de la Zona de Fracturamientos O'Gorman produciendo mayores deformaciones en las profundidades.

Para el desarrollo de los análisis geomorfológicos, en el plano, y de ahí la elaboración del modelado, se ha elegido como eje de referencia y apoyo al Eje de la Trinchera Mesoamericana y su orientación en la localidad estudiada. El alineamiento de las fosas y el eje mismo, definen un rasgo morfológico evidencial por que sigue a la traza de falla (o plano asociado) a la zona de Benioff, el cual queda determinado por la intersección con las otras superficies: la abisal y las de los taludes. Por ello, es un rasgo consistente, notorio y ubícuo; y para fines prácticos, lineal y fijo en términos relativos. Está indicado consistentemente con "TR ----" en todos los planos morfométricos.

En otro aspecto, para la definición actual del marco tectónico fundamental en la región centromeridional de México, fué necesario que a partir de un análisis bidimensional geológico-gravimétrico, se planteara un modelo de "corteza continental enmarcada por las cortezas oceánicas", la del sur del Golfo de México y la del Cercano Océano Pacífico, Figura No. 5.

Figura N° 5: Sección Regional Gravimétrica GG'; que muestra el Modelo C del Golfo de México al Cercano Océano Pacífico. El extremo meridional incluye el análisis detallado de Anomalía de Aire lacionada con la Anomalía de Bouguer (continental) de la M Sur de México. Lo cual se ilustra en la siguiente Figura

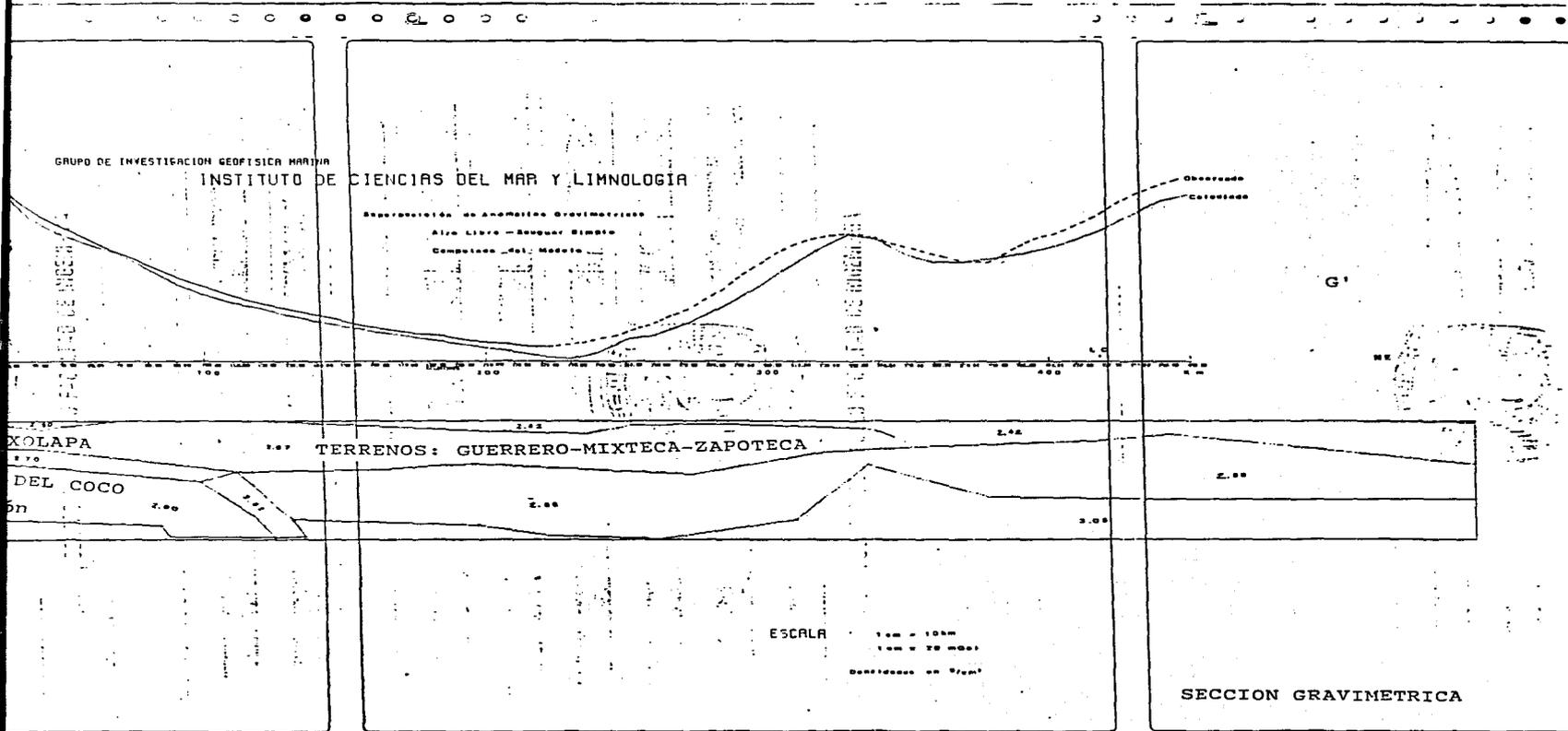
SUPERPOSICIÓN DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS
AIRE-LIBRE—BOUGUER SIMPLE
COMPUTADA DEL MODELO



ional Gravimétrica GG'; que muestra el Modelo Cortical de México desde México al Cercano Oceano Pacífico. El extremo SW de la sección bidimensional incluye el análisis detallado de Anomalia de Aire-Libre (marina) con la Anomalia de Bouguer (continental) de la Margen Continental del Pacífico. Lo cual se ilustra en la siguiente Figura (Nº 6).

ION DE ANOMALIAS GRAVIMETRICAS
E-LIBRE—BOUGUER SIMPLE
COMPUTADA DEL MODELO

ESCALAS
1 cm = 10 Km
1 cm = 20 mGal
Densidades en g/cm³



En esta sección cortical representada en el modelo bidimensional regional, se apoya otro modelo bidimensional y local, el de la zona transicional Océano-Contiente en la vecindario submarino del borde estatal Guerrero-Oaxaca. Este modelo en dos dimensiones de la margen continental-oceánica se coteja con los resultados de los Métodos Geomorfométricos aplicados en este segmento de la zona transicional.

La Figura No. 6 muestra el Modelo Gravimétrico de detalle en 2D del Prisma Acrecionario.

Asimismo, es importante destacar que en la localidad de este estudio geomorfométrico se desarrolló este análisis gravimétrico en semidetalle y en dos dimensiones, del prisma acrecionario aledaño al borde del rift supuesto y que se computó con una frontera vertical a las cuñas sedimentarias. Los resultados de este modelo gravimétrico se ajustaron a la sección regional gravimétrica bidimensional de apoyo global y para cotejar, también con ello, la interpretación de la geomorfometría.

V. EL PRISMA ACRECCIONARIO

El prisma acrecionario podría conceptuarse como el cuerpo que forma la acumulación secuencial de cuñas sedimentarias con ocasional inclusión de rocas oceánicas. La serie de cuñas adquiere una distribución que sigue a una columna estratigráfica invertida, (Figura No. 6). Encima incluye sedimentos terrígenos en los estratos de la plataforma continental y en el interior de las cuñas aquellos sedimentos que fueron alimentados a través de los cañones submarinos hacia las fosas

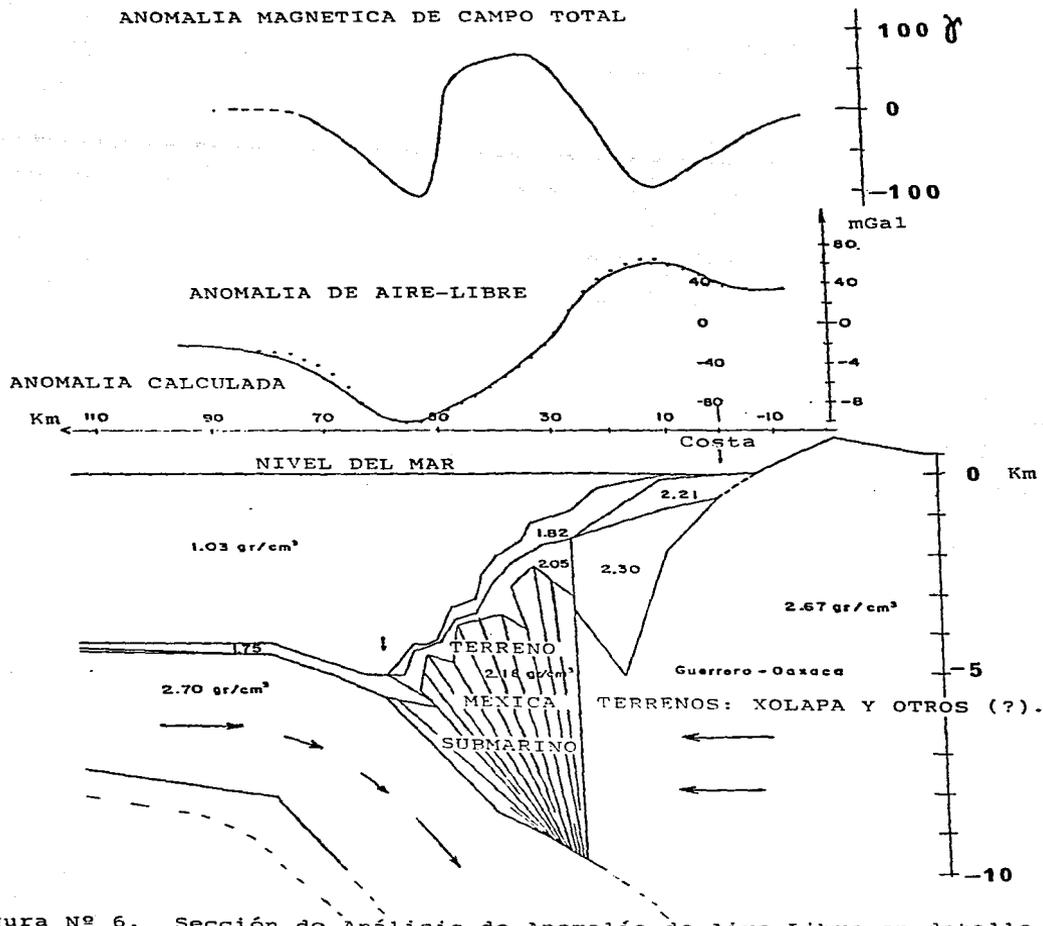


Figura N° 6. Sección de Análisis de Anomalia de Aire-Libre en detalle del Prisma Acreeionario en la Zona Transicional Oceano-Continente, inserta en la Sección Gravimétrica Regional G G' (Figuras N° 1 y 5). Anomalia Magnética para apoyo.

de la trinchera para ser incorporados al prisma junto con algunos pelágicos y hemipelágicos.

En la región submarina de este estudio se tiene este fenómeno acrecional (Seely et al., 1974; Karig, 1974; Karig y Sherman 1975, Karig et al., 1978; y Shipley et al., 1980) activo a partir del Neógeno de manera aparentemente continua. De acuerdo con este fenómeno se desarrolló el proceso acrecionario, la porción ubicada en la zona transicional del continente al océano experimentó tanto la mayor deformación, como un levantamiento importante, lo cual se extiende por encima del plano que determina la subducción, desde el quiebre plataforma-talud hasta el pie del talud inferior interno de la trinchera.

En la misma región submarina, los resultados de los Métodos Geofísicos Marinos aplicados en estas investigaciones, tales como la Reflexión Sísmica Multicanal, de Refracción Sismológica con sonoboyas y de muestreo con draga; indican que bajo la plataforma y el talud continentales infrayace la Corteza Continental. La geometría derivada de los datos de reflexión sugiere que la corteza continental tiene menos de 10 km de espesor en su extremo hacia el mar. Asimismo, las estructuras y los reflectores acústicos buzantes hacia el continente sugieren que la base del talud es una zona acrecional que está siendo emplazada y levantada con los rellenos tubidíticos de la trinchera (Shipley et al., 1980), como se puede apreciar en las interpretaciones como la que ilustra la Figura 7.

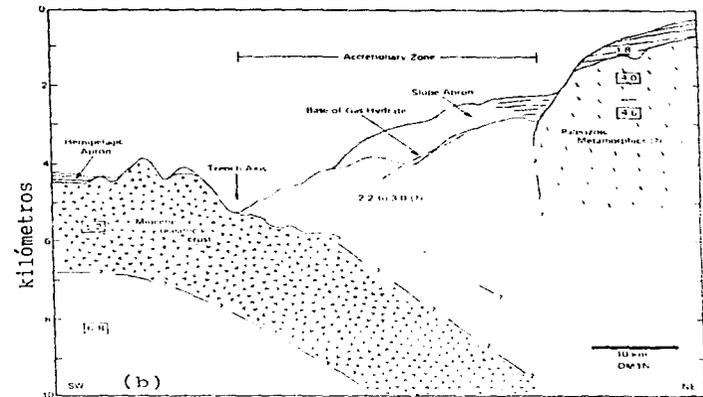
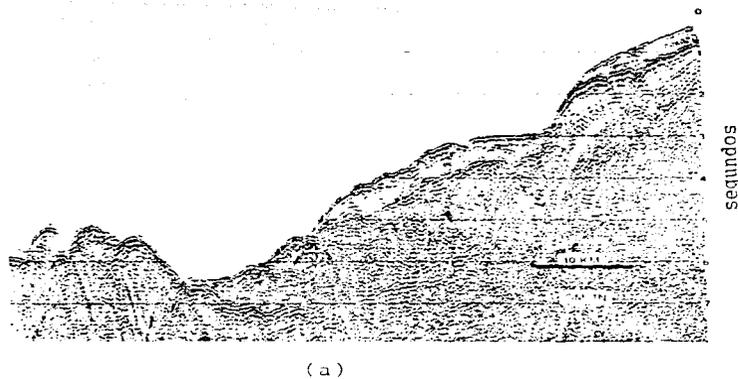


Figura N° 7: Sección Sísmica de Reflexión Continua Multicanal al 2400% a través del Prisma Acreecionario y la Zona Transicional Océano-Continente. La Sección se encuentra localizada en la porción oriente al Area Estudiada mostrada en las Figuras 1 y 2. La exageración vertical es aproximadamente 8X. El tiempo de viaje de onda reflejada de ida y vuelta está indicada en segundos a la derecha (NE) de la sección. La Figura 7b muestra una sección de profundidades interpretadas de la misma sección (figura 7a). La exageración vertical es de 6X aproximadamente. Las velocidades de onda indicadas en la Figura 7b, están en km/seg y fueron obtenidas mediante técnicas de reflexión sísmica y de métodos de refracción (en cuadro). El horizonte refractor puede ser el gneiss paleozóico asociado al Terreno Xolapa en esta porción oceánica (?). Se ha observado un horizonte diagenético a lo largo de muchas secciones en la localidad, el cual tiende a intersectar a los planos entre cuñas en donde estos fueron observados. El carácter de esta reflexión se ha reconocido en otros océanos del mundo (e.g. Tucholke et al., 1977) y se cree que representan la base del sedimento con gas hidratado (Según, Tom Shipley et al., 1980).

V.1. GEODINAMICA LOCAL

En la porción submarina del área de este trabajo se han observado en detalle varios rasgos muy interesantes, tales como las fallas normales o de gravedad en la trinchera y al pie del talud inferior que cambian su polaridad a fallas inversas cuando han penetrado bajo el talud continental inferior (Shipley et al., 1980). De esta manera dan inicio a su incorporación al prisma acrecionario formando parte de la acumulación secuencia de cuñas sedimentarias. Este trance estructural fue observado mediante la migración de secciones de perfilaje sísmico de reflexión continua en la zona de la trinchera y su pared interna al pie del talud inferior, Figura No. 8. Otro rasgo nuevo observado ha sido la ocurrencia persistente de las zonas de gas hidratado (Shipley, 1979) al parecer de origen biogénico, las cuales dan fe de la homogeneidad de los sedimentos en los primeros 500 m del subsuelo marino en el talud inferior por debajo de la profundidad de los -2000 m, e implicando una presión hidrostática superior a los 200 kg/cm². Estos horizontes de gas hidratado fueron predichos con la interpretación sismoestratigráfica y corroborados por la perforación (DSDP, Leg 66).

Esta zona hidratada presentada por sus reflectores acústicos define aparentemente un casquete que sigue a la topografía a manera de un "permafrost", el cual corona los bordes superiores de la familia de planos reflectores que buzan hacia el

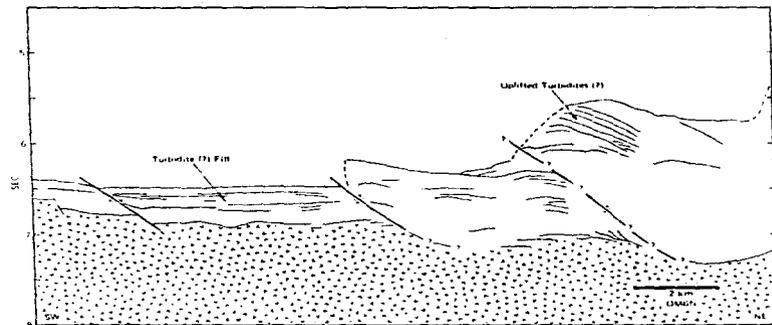
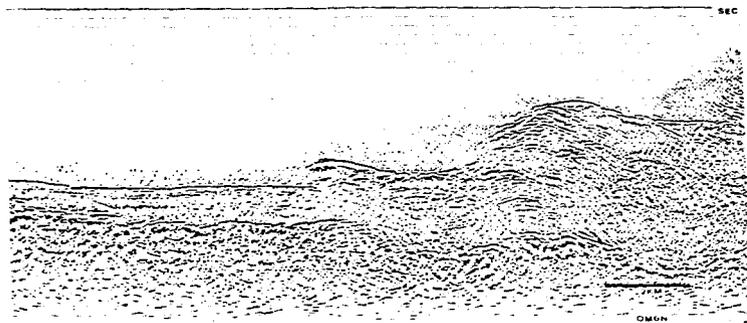


Figura Nº 8: Sección Sísmica Migrada en Tiempo (OM-6N) ilustrando un ejemplo de las estructuras complejas en la base del talud, la falla normal (al lado izquierdo en la figura) es un rasgo común mar adentro del eje de la Trinchera. El empuje más inferior podría ser una falla normal reactivada. El empuje sobre la derecha de la sección se ha inferido con los cambios en la geometría de las reflexiones internas (Shipley et al., 1980).

continente. De entre estos planos debe fluir el gas, así como se ha observado a la arcilla (lodo) fluir de los bordes de estos contactos (Fontas et al., 1984). El gas biogénico, aparentemente se hidrata con el abatimiento de presión y temperatura en su salida hacia la superficie del fondo marino. Aquí no se descarta la posibilidad de existencia de una capa de cobertera subparalela a la topografía constituida por aquellas eyecciones planares de lodo y el entrampamiento del gas biogénico para determinar ese "permafrost" sometido a la presión hidrostática y no más a la presión estructural (de roca). En este aspecto, las zonas de gas hidratado si tendrían un significado estructural que se identifica con uno de los objetivos del trabajo y que sin embargo la génesis de la zona hidratada requiere de ampliar su investigación quedando fuera de esta temática por ahora.

Estos rasgos y muchos otros dados por la sismoestratigrafía han sido consignados en otros trabajos reportados en el DSDP Leg 66 (op. cit.). En donde se puede constatar que, asimismo, se apoyan en las investigaciones previas realizadas con los datos geofísicos marinos, del Marine Sciences Institute, of The University of Texas at Galveston, (UT-MSI) 1977-1982; en un levantamiento integral que incluye perfilaje de Reflexión Multicanal Continúa; Refracción, Magnetometría y muestreo del fondo oceánico; donde el autor ha participado. Así también, para

complementar el modelo gravimétrico de detalle, se ha contado con estos datos y la información del Proyecto de Perforación de Mar Profundo (DSDP Leg 66 op. cit.). Es decir, se ha intentado en este trabajo el manejo al detalle de la región marginal, a partir de la aplicación de una versión modificada del modelo de talud continental con trinchera de Seely-Vail-Walton (Seely et al., 1974). Con datos gravimétricos se ha diseñado un modelo geométrico nuevo como resultado obligado de la información sismoestratigráfica y de perforación (Shipley et al., 1980; Shipley, T.H., 1981; Watkins et al., 1981). Este modelo como herramienta de una hipótesis de trabajo geofísico incluye un truncamiento continental abrupto el cual sugiere la dislocación continental del extremo sur del continente (Shipley et al., 1980; Karig et al., 1978; Sandoval 1991) Figura No. 6, (i.e. Macizo Complejo de Guerrero-Oaxaca) como resultado de un movimiento sinistral de rift de una pieza de la corteza continental en el Terciario (Malfait et al., 1972; Aguayo et al., 1987).

"Aparentemente este rompimiento cortical sucedió durante el Eoceno Tardío al principio del Mioceno y fué favorable a movimientos verticales en el macizo cortical del sur de México y que, en consecuencia, estos movimientos epeirogénicos fueron previos e independientes a la existencia de un protoprisma tabular rocoso. Acto seguido, los terrenos acrecionarios se desarrollaron en sentidos verticales y hacia el mar del Mioceno tardío, los cuales continúan hasta épocas holocénicas (Shipley et al., 1980; Watkins et al., 1981). La expresión resultante

de estos terrenos se discute con el modelo aquí propuesto como sigue: El prisma acrecionario ha quedado constituido por una acumulación secuencial con caracter inverso de cuñas sedimentarias de depósitos turbidíticos en su mayoría y pelágicos hemipelágicos en menor proporción.

V.2. EL MODELO DE LA TECTONICA EN LA MARGEN CONTINENTE-OCEANO

A partir de los datos de geología superficial de las áreas continental y oceánica, se han reportado algunos depósitos del Triásico al Paleógeno (Shipley et al., 1980; De Cserna et al., 1976; Neil Lundberg et al., 1981) los cuales han sugerido que las discontinuidades abruptas laterales de los paquetes estratigráficos, así como, los paquetes metamórficos y los intrusivos (De Cserna, 1970) se debieron al truncamiento (Karig et al., 1978) consecuente, presumiblemente a una gran reorganización de placas, hace no menos de 22 Ma (Watkins et al., 1981).

De acuerdo con las ideas de Karig (Karig et al., 1978; Karig, D.E., 1974) sobre los procesos de un rift de la margen continental a lo largo de la tendencia del sistema de arco y asimismo, de acuerdo con Watkins et al., (1981) con tal reorganización; durante el trazo de -22 a -10 Ma, la subducción con carácter oblicuo produjo en consecuencia, una etapa de erosión tectónica intermitente. Finalmente, a partir de -10 Ma hasta el día de hoy, se ha venido desarrollando progresivamente un creciente prisma acrecionario. Durante esta época "del Mioceno al Reciente también evolucionaron las rocas volcáni-

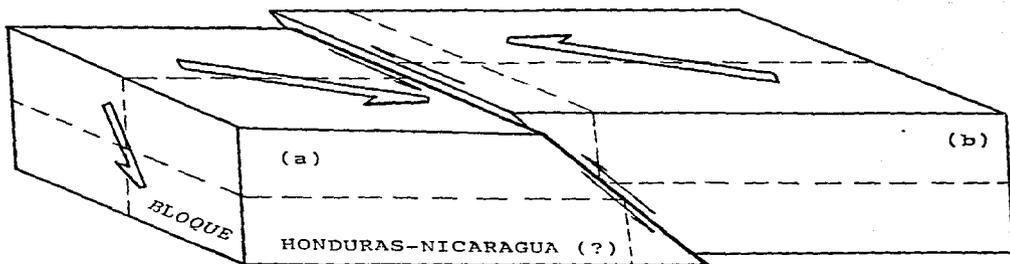
cas de la Faja Volcánica Mexicana (Verma, S.P., 1985) asociada a la Trinchera Mesoamericana".

Para el prisma acrecionario con evaluaciones del balance de masas en condiciones como las descritas por Watkins et al., (1981) se plantea una hipótesis de una extensión hacia el continente en un modelo de prisma con su cara buzante hacia el continente con 45° NE. Esta interpretación no obstante al ser la primera de la zona de transición, proporciona una buena representación al ser comparada con la pared inclinada del continente como una margen abrupta. De acuerdo con esto, se esperaría que tal plano (de ruptura) forma un límite continental abrupto en el continente truncado y tiene un echado entre 45° y 61° como se puede apreciar en su propio modelo hipotético.

Teóricamente, si aceptamos que cualquier losa frágil y tendida, sujeta a esfuerzos horizontales de compresión (Figura 9) rompe en un ángulo entre 45° y 90° con respecto a un plano axial horizontal y sin embargo debido al carácter oblicuo de algún empuje horizontal por la subducción (con una componente lateral) el plano de ruptura tenderá a ser más empinado o casi vertical.

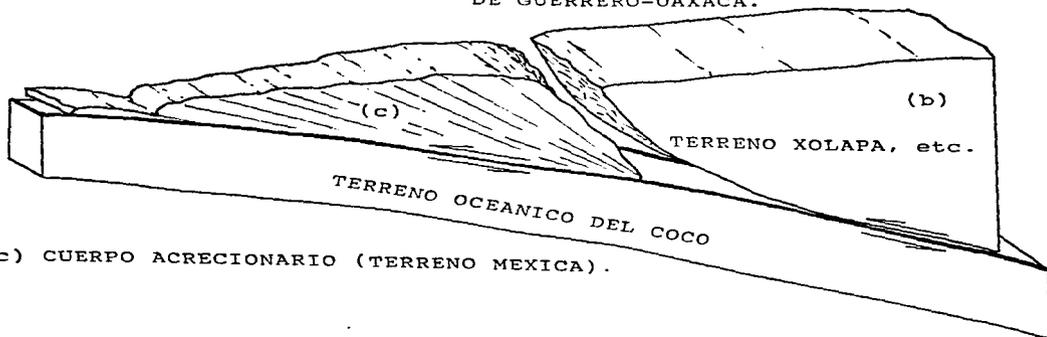
V.3. ANALISIS GRAVIMETRICO DE ANOMALIS DE AIRE LIBRE E ISOTATICAS.

En este trabajo se ha utilizado la sección acústica multicanal de reflexión continua sobre la línea de levantamiento OM6N



(a) BLOQUE REMOVIDO POR EROSION TECTONICA.

(b) BORDE REMANENTE DEL MACIZO CONTINENTAL DE GUERRERO-OAXACA.



(c) CUERPO ACRECIONARIO (TERRENO MEXICA).

Figura N° 9. Modelo Hipotético de una Losa tendida y frágil sometida a fuerzas horizontales oblicuas, que remueven al bloque (a) debido a la erosión tectónica a partir del plano subvertical de ruptura sinistral. A partir de este plano límite, el Macizo Continental de Guerrero-Oaxaca (b) que incluye los Terrenos de Xolapa, Guerrero, Mixteca etc; permanece relativamente fijo para recibir al prisma acrecionario (c).

(Fig. 8) con el objeto de tener un apoyo al modelo poligonal y computarizado en dos dimensiones del prisma acrecionario. El modelo considera un plano de ruptura subvertical para lo cual se propone la posición de una terminación continental abrupta a los 27 km aproximadamente desde la línea de costa, sobre la sección OM6N (Fig. 6). El modelo se ha obtenido a partir de un arreglo interpretativo de facies y posiciones en un marco geométrico posterior a un análisis sismoestratigráfico. La información del DSDP-Leg 66 en el vecindario de la sección, fue integrada para restringir el modelado respecto a densidad-litología de los cuerpos más superficiales. La computación digital para el cálculo de la anomalía gravimétrica fue llevada a cabo con el algoritmo de Talwani 2D para la gravedad en una versión modificada. Después de algunas iteraciones la anomalía calculada se superpuso a la anomalía de Gravedad de Aire Libre dada a UT-MSI por OSU (Couch y Woodcock, 1981), (Fig. 10). Las anomalías se evaluaron en dirección transversal a la tendencia regional de campo gravífico cortando, asimismo, a los rumbos estructurales de la margen continental suponiéndola de extensión longitudinal infinita. Se tuvo una superposición de curvas calculada y observada aceptable para la interpretación con errores tolerables bajo 9 miligales en la zona de la margen continental, Figura No. 6, incluso siendo válido el modelo y digno para un análisis isostático ulterior, y así, cualitativamente comprobar con otras áreas.

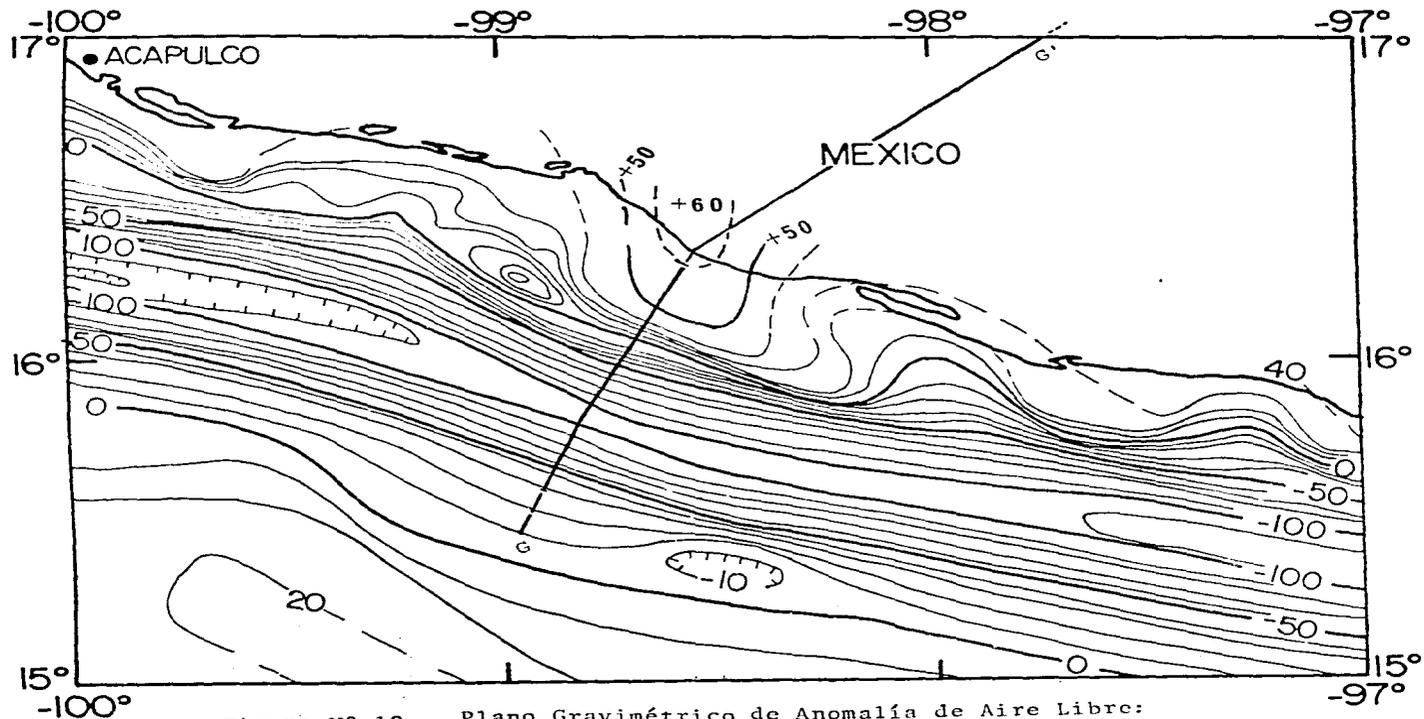


Figura N° 10 Plano Gravimétrico de Anomalía de Aire Libre:
 Con la localización de la Línea de Análisis Gravimétrico de se-
 midetalle en la Zona Transicional Océano-Conti...te.

A continuación se discuten los resultados de este modelo en la margen continental, típicamente y como es de esperar, el extremo sur de la línea analizada (OM-6N) intersecta a la anomalía de aire libre mínima negativa, la cual se localiza alineada a lo largo de la trinchera sin ningún cambio sensible a lo largo de su eje dentro del segmento y regiones adedañas. En el otro extremo, en su prolongación hacia el norte, aún en la porción continental se encuentra un alto gravimétrico que alcanza los +60 miligales, justamente encima del así llamado Banco Tártaro, un alto topográfico reportado previamente por Fisher, 1961 (Shipley T.H., 1981; Couch et al., 1981) el cual ahora aquí se interpreta como un alto estructural, en el modelado con datos gravimétricos (Figuras Nos. 6 y 10).

V.3.1. Expresión Gravimétrica del Mecanismo de la Subducción por la Anomalía de Aire Libre.

En la porción austral de la región estudiada se encuentra que del mismo modo que la flexión de litósfera oceánica genera un alto gravimétrico relativo cargado hacia el mar adentro, más allá de la Trinchera (Couch et al., 1981); esa misma porción, cuando avanza hacia el continente rebasando al eje de la Trinchera; genera un bajo gravimétrico relativo, exactamente por debajo de la Trinchera y el talud interno inferior conllevando lo siguiente: a) Los depósitos ligeros del prisma Neogénico aún no consolidados. b) No obstante que bajo esta región en general la corteza oceánica es más gruesa debido al efecto de espesor aparente causado por la flexión, asimismo se ha alejado debido a su buzamiento creciente. c) En la región por

debajo del mismo sector, el Manto Superior más denso, también ha sido desplazado alejándose con el emplazamiento de la placa hundida por flexión. d) Con el inicio de la flexión, se puede considerar un defecto de masa en el espacio analizado, como resultado de los efectos de rarefacción y adelgazamiento por fracturamiento en la parte superior de la placa flexionada, es decir, se han generado huacos, hendiduras, fosas de trinchera cual si fueran grabens; dejan espacios que enseguida son ocupados por agua marina y los "primeros depósitos caídos" de sedimentos ligeros no compactados, como los de la capa de cobertura de la placa oceánica, turbidíticos y hemipelágicos y e) Asimismo, el eventual efecto debido a la presencia de alguna capa de menor densidad (inferida de una baja velocidad de onda p) como la del Moho (?). Con la participación simultánea de los cinco factores anteriores, combinados en conjunto, con su influencia individual negativamente aditiva, se produce una distribución muy abigarrada de masas anómalas en defecto, de tal manera que en efecto global el mínimo gravimétrico se explica.

V.3.2. Expresión Gravimétrica del Mecanismo de la Subducción por la Anomalia Isostática.

En el año de 1948, V. Meinesz (1948) en Couch et al. (1981), op. cit, reportó cuatro mediciones de gravedad sobre la Trinchera a lo largo de la longitud 98°20' Oeste, cerca de la sección estudiada. Así también reportaron en esa ocasión que en esta área, la Trinchera y el Talud Continental están asociados con una evidente falta de compensación isostática.

Después de J.C. Moore et al., (1981) se deduce aquí, cómo es que el prisma acrecionario por su anomalía isostática negativa (De la O. Carreño, A. 1949) tiene una sobrecompensación isostática original, y que tal estructura "acuñada", tal como un bloque, hoy en día, continúa levantándose, manteniendo o incrementando su sobrecompensación. Es decir, el nuevo prisma continental para poder ascender su relieve, necesita comportarse como un volumen creciente de corteza y lo logra mediante el proceso de enjarre continuo de emplastaduras múltiples debajo (under-plating) de la base del prisma, Watkins et al., 1981. Para esto es necesario incrementar o al menos mantener constante su "normal" sobrecompensación isostática. Siendo así, no se esperará que el espesor subnormal del prisma y su peso ligero sean congruentes con su continuo levantamiento y creciente sobrecompensación.

Además en otro sentido, el peso ligero del prisma dado por el relieve bajo y un próximo basamento de apoyo al prisma, en plano inclinado, permite el acrecentamiento en su base. Este mecanismo es debido al arrastre e incorporación de las esquirlas o cuñas, producto del proceso de escarapelamiento, Figura No. 8 (offscapping) de las rocas de cobertura de la placa oceánica, Watkins et al., (1981), esas nappas embrionarias cuestionadas por Arif Butt, (1981). Estas hojas de roca en parte emplazadas al prisma y en parte, especialmente, asimiladas al mismo en su basamento, reciben un esfuerzo tangencial en el plano basal inclinado debido a la componente de la fuerza

horizontal del choque de placas. Asimismo, de la otra componente, normal al mismo plano base del prisma, se surte el es fuerza tanto para el enjarre de emplastamiento intermitente, Watkins et al., (1981) como para contribuir con el ascenso del prisma debido a su volumen creciente. En última instancia, y no menos importante, el grado de rugosidad en el "plano" de subducción, propicia un reacomodo, probablemente ubícuo bajo el prisma, debido a una soliflucción de materiales no consolidados y si saturados de agua congénita, los cuales fluyen bajo presión hacia los vacíos relativos en la rugosidad, a lo largo del "plano" de subducción, en un flujo de eyección seme jante a los observados por Fontas et al. (1984) en los cordones de lodo en el Talud Continental a lo largo de las trazas de los contactos subparalelos a la zona de subducción, del in terior del prisma.

V.3.3. Expresión del Desarrollo (vertical y horizontal) del Prisma Acreecionario

La participación simultánea de todos estos procesos de acción inferior del prisma y levantamiento de su relieve, se dá en conjunto con la permanente sobrecompensación isostática en la margen continental, así como con su persistente anomalía de aire libre negativa.

Por lo tanto, las condiciones de isostasia sobrecompensada manifiesta por las anomalías negativas de Aire-Libre e Isostática, bajo el prisma; se definen y se proponen como normales,

puesto que muchos otros segmentos de margenes circumpacíficas, aún maduras, acusan típicamente, anomalías gravíficas negativas y se han reportado como sobrecompensadas. O sea, que en esta región investigada, al igual, aparentemente que muchas otras del mundo, el prisma acrecionario, nace delgado, ligero y hundido conservando estas condiciones durante su juventud y madurez, proporcionalmente con su sobrecompensación isostática.

V.3.4. Aspectos concluyentes e implicaciones del terreno acrecionario

No obstante qué, como consideran otros autores la compensación isostática se propaga más allá del área de orogénesis, Gunn, Ross A., (1937), o bien, para áreas de extensión limitada (menos de 100 km) predomina la compensación isobárica Woollard et al. (1956); el análisis isostático cualitativo se ha realizado aquí, para el prisma acrecionario a partir de la información de las anomalías isostáticas de ésta y de otras margenes continentales circumpacíficas, y que han solicitado modelos de cuerpos acreccionarios como éste, en una zona local con un estado regional de esfuerzos compresionales horizontales que se equilibran en un sistema dinámico. Así, el prisma se ha sometido a un sistema cambiante de esfuerzos tensionales a compresionales bien definido, donde el papel de la gravedad ha prevalecido, de tal manera que la respuesta es el crecimiento de la corteza que conlleva el desarrollo de una zona de transición continente-océano aparentemente compleja.

A manera de recapitulación, la primera etapa de la evolución geodinámica en la región fué el truncamiento debido a la reorganización de las placas y que afectó al macizo de Guerrero-Oaxaca como resultado de los esfuerzos de una subducción oblicua durante la época de cambio Oligo-Miocénica (-22.5 Ma) de reorganización de placas.

Esta erosión tectónica regional ha tenido lugar por lo menos una vez, desde entonces, hasta -10 Ma. Sin embargo después evolucionó una acumulación secuencial continúa de cuñas sedimentarias con el proceso de escarapelamiento de esquirolas de la roca de cobertera, propiciado por el fracturamiento normal que se presenta por la flexión de la placa al acercarse a la Trinchera. Y así, en dirección hacia el continente exactamente, por debajo del pie de Talud continental inferior, que forma la pared interna de la Trinchera; las cuñas desgajadas se deslizan unas respecto a otras sobre los mismos planos de falla que una vez fueron de fallas directas, y que ahora ahí, actúan como fallas rotacionales inversas Figura No. 8. A causa del estado de esfuerzos compresionales también limitan su extensión inferior en la zona tanto estas fallas como las cuñas, en la zona de emplastamiento del prisma acrecionario. Estas cuñas ya apiladas de manera inversa se deslizan entre sí, como naipes, sobre sus planos de falla rotacional con un efecto de "décollement" local entre ellas. El avance de las "protonappas" inferiores impulsa al conjunto y con ello genera las protuberancias que dan forma de jorobas y cordones es-

calonados al Talud Continental. En ocasiones estas protuberancias o altos estructurales constituyen tras de sí, verdaderas cuencas cuaversales (Sandoval, 1985) que al azolverse crean evidentes terrazas estructurales o remansos tectónicos. Las estructuras así generadas, en este tipo de márgenes son las que ofrecen los mejores atractivos potenciales de hidrocarburos biogénicos.

En un panorama general la dinámica en las estructuras entre ambas regiones vecinas a la Trinchera, se nota de inmediato que, a lo largo de su eje el contraste tectónico es muy evidente, supuesto que, la fosa de la Trinchera misma y el receptáculo del prisma, han sido originados por los efectos extensionales de la flexión y fragilidad de la parte alta de la placa. En consecuencia, inmediatamente después, en el Talud continental inferior con el receptáculo ocupado por el prisma, también está presente otro dominio de esfuerzos, ahora compresionales que son absorbidos por dicho prisma acrecionario. A lo largo del tiempo geológico, en términos relativos, el proceso de subducción ha tenido lugar con un movimiento estacionario muy rápido, y no así, ha sido el proceso de emplastamiento múltiple en la base del prisma, el cual ha sido muy lento. La conversión de efectos tensionales a compresionales sobre las mismas piezas o cuñas escarapeladas (offscrapend pieces) formadas con trozos de carpetas de pelágicos y hemipelágicos y ocasionalmente esquirlas de corteza oceánica, o bien melanges, ahí intercaladas; tienen como resultado un crecimiento en

volumen del prisma acrecionario a expensas del material aportado en los procesos de escarapelamiento y emplastamiento múltiple arriba de la placa oceánica en subducción. Estos procesos en el prisma, junto con el empuje isostático "restringido" propician en conjunto un levantamiento regional del prisma acrecionario (i.e. un Terreno submarino nuevo), Figura No. 8.

En tal régimen compresional de componentes de esfuerzos horizontales se dá muy probablemente, una tendencia al equilibrio isobárico lateral del área puesto que las fuerzas horizontales se compensan unas a otras actuando en la sección transversal normal al empuje de placas de más de 60 km de grosor, aunque a lo largo del arco haya la tendencia isostática importante.

Es decir qué, así entonces, queda definido un sistema de convergencia, en equilibrio dinámico, cuyos efectos compresionales pervasivos en las placas se anulan mutuamente implicando el equilibrio isobárico en el sentido transversal del prisma. En el otro sentido las fuerzas verticales resultantes, actuando en contra de la gravedad, permiten la ascensión isostática del prisma acrecionario; y el levantamiento es auspiciado por los procesos descritos para el incremento de volumen de la nueva corteza dentro y encima de la coyuntura receptáculo, de acción entre placas. Complementariamente, en el sentido longitudinal de la margen se define la propensión a un equilibrio isostático, en "trance" sobrecompensado, permanentemente.

En términos globales y sin proclividad hacia algunas de las teorías de la Isostasia en particular, el mecanismo tendiente a la compensación isostática en la margen investigada es congruente con las anomalías de gravedad discutidas. Asimismo, de acuerdo con el modelo aquí propuesto, las anomalías de gravedad responden congruentemente al hecho de que; la variación vertical en el espesor del prisma, su dinámica, los bloques receptáculo y la variación lateral de la densidad, dominan el conjunto de la corteza transicional océano-continente. En ese marco geodinámico el mecanismo resultante del prisma responde a una sobrecompensación isostática permitiendo así que la recién nacida Neogénica-Corteza acrecionaria tiende a madurar con el desarrollo del acrecentamiento continental con nuevos terrenos, el Terreno Mexica Submarino-Tectonoestratigráfico, el cual se discute adelante.

VI. ARQUITECTURA DE LOS TERRENOS TECTONOESTRATIGRAFICOS CONTINENTALES Y SUBMARINOS

El marco tectónico fundamental de la región estudiada, marina y terrestre, está determinado por el Macizo de Guerrero-Oaxaca y la evolución (Shipley, 1980) que tuvo como factor de influencia en su porción "Pacífica". Este cuerpo cortical ha sido objeto de grandes polémicas debido a su complejidad geológica y tectónica, su extremo nororiental fue conocido algún tiempo como el Nudo Mixteco y del Cempoaltepetl (cempoalliviente múltiple) porque ahí aparentemente convergen las sie-

rras madres. El Macizo está constituido por varios elementos geotectónicos del pre-Cámbrico al Mesozoico que definen diferentes tipos de basamentos complejos, y han sido identificados regionalmente de tres maneras diferentes: (1) A partir del concepto del Ciclo Geotectónico y la Teoría del Eugeosinclinal. (2) A partir de los trabajos petrológicos y geocronológicos en términos del concepto de la Nueva Tectónica Global, y (3) Aquellos postulados a partir del Análisis de Terrenos Tectonoestratigráficos y de la Teoría de la Tectónica de Placas.

Alguno de estos elementos geotectónicos es autóctono (Complejo Oaxaqueño o Terreno-Oaxaca o Zapoteca), otros para-autóctonos (Subgrupo Petalcingo del Complejo Acatlán o Terreno-Mixteca) y aun alóctonos (Subgrupo Acateco del Complejo Acatlán o Terreno-Mixteca y el Terreno Submarino del Coco); algunos de ellos con una evolución ígnea y metamórfica complicada (Grajales, 1988) y otros (complejo o Terreno-Xolapa, Complejo Tierra Caliente o Terreno-Guerrero y Terreno-Juárez) aún bajo discusión.

Particularmente los dos elementos geotectónicos involucrados directamente en el área continental del trabajo son: el Terreno-Xolapa y el Terreno-Mixteca, con esta breve recapitulación, aunque dista mucho de representar todos los méritos constructivos del edificio geotectónico del Sur de México en cada uno de sus elementos, se rinde un reconocimiento de rele

vancia científica a sus autores cuando las hipótesis que operan se apoyan ampliamente en sus trabajos, tales como los de: Alvarez, 1949; Guzmán, 1950; De Cserna, 1965 y 1970; Rodríguez T., 1970; Coney et al., 1980; Ortega, G., 1981; Campa et al., 1980; Shipley et al., 1980; Jones et al., 1983; Coney, 1983; Aguayo y Marín, 1987 y Grajales, 1988.

Después de estos investigadores y tras la serie de sus logros acumulativos en el conocimiento geológico sobre los basamentos complejos del México meridional, se propone en este trabajo, con la ampliación en número de los terrenos tectonoestratigráficos sospechosos; ahora bajo la región submarina del Cercano Océano Pacífico, la denominación de dos nuevos elementos geotectónicos marinos (Figura No. 11) y que son

VI.1. EL TERRENO OCEANICO DEL COCO

Según lo anterior el mayor, elemento geotectónico, de todos los conocidos en la región, es la Placa de Cocos cuya porción de dominio en el área estudiada determina al Terreno Oceánico del Coco, y cuyo nombre también proviene de la Isla del Coco, Costa Rica. Es un terreno tectonoestratigráfico, oceánico y alóctono muy activo a causa de su evidente, actual movimiento y emplazamiento subductivo bajo los Terrenos Metamórficos Complejos del Sur de México. Está limitado por las zonas de fallamientos regionales de la Dorsal del Pacífico Oriental y la Zona de Fracturamientos Ri-

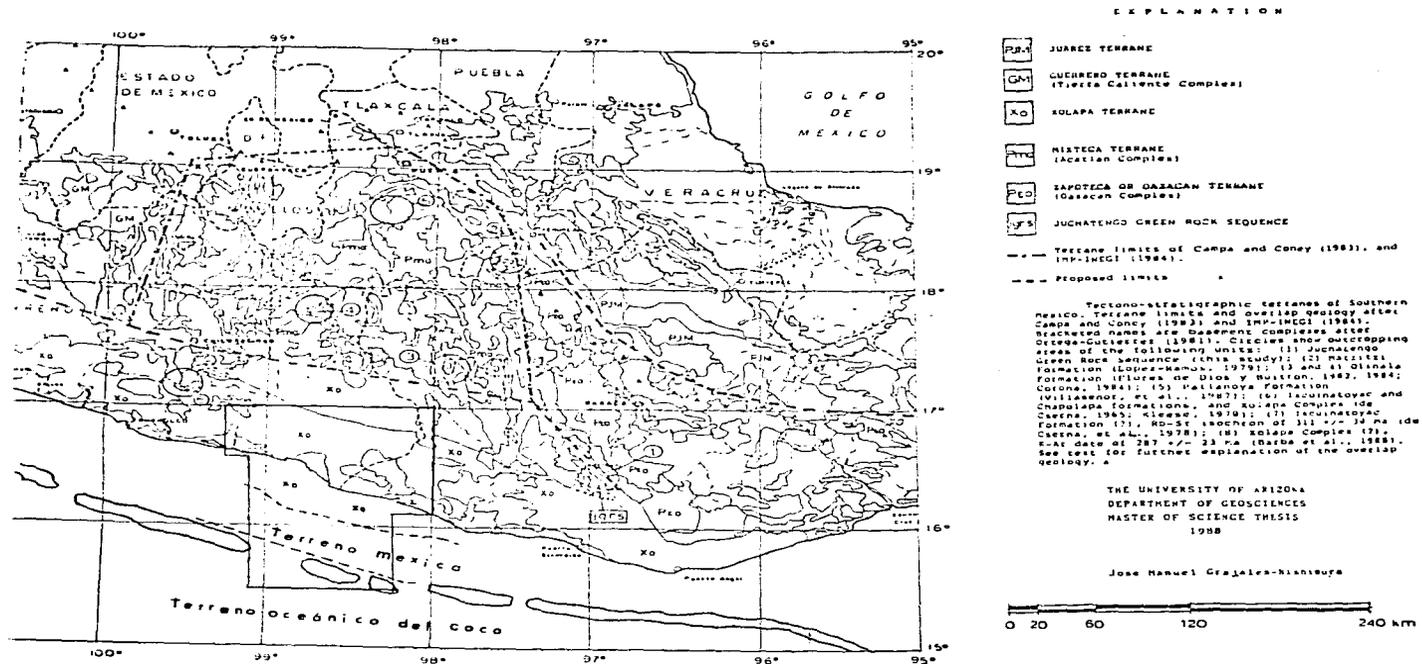


Figura N° 11. Terrenos Tectonoestratigráficos del Sur de México. Los Límites de los Terrenos y la superposición de la Geología son tomados de Campa y Coney (1983) e IMP-INEGI (1984) así como de otras fuentes; en Grajales (1988).

vera al Oeste, La Dorsal de Galápagos al Sur, los Umbrales del Coco y Carnegie (?) al Este. Al Norte no se encuentra delimitado, por ahora, con algún rasgo visible en la superficie del fondo marino o del continente, pero se puede considerar el borde inferior de la falla (i.e. Zona) de Benioff donde la placa comienza a fracturarse o disolverse en la profundidad. Este terreno está constituido por una corteza oceánica típica del Pacífico, de afinidad en secuencia ofiolítica hacia la cima, la cual está coronada por sedimentos pelágicos y hemipelágicos que en la zona estudiada tienen unos 200 m de espesor promedio y en el eje de la trinchera estos sedimentos subyacen a su vez, a las turbiditas con unos 750 m de espesor y en contacto bien definido (Shipley et al., 1980).

VI.2. EL TERRENO MEXICA SUBMARINO

El menor de todos o más bien, el más estrecho en el sentido transversal es el Terreno-Mexica Submarino, oceánico por naturaleza y queda identificado a partir del Prisma Acrecionario. Es un terreno tectonoestratigráfico: marino, para-autóctono, desmembrado, constituido con cuñas sedimentarias de edades variables, intercaladas, con proto-nappas (nappas embrionarias de A. Butt, 1981), sedimentos terrígenos y posiblemente con alguna imbricación y emplazamiento de piezas de corteza oceánica al pie del talud continental inferior. Es un cuerpo

prismático también emplazado, contra el frente continental, supuestamente ulterior a una ruptura miocénica producida por la erosión tectónica en el extremo sur del Antiguo Macizo de Guerrero-Oaxaca. Este rasgo determina el límite Norte de la acumulación secuencial de cuñas sedimentarias con la ausencia de una cuenca de arco frontal bien desarrollada, y su límite Sur lo define el pie del talud continental inferior (Shipley, op. cit.).

El prisma acrecionario del Terreno-Mexica se vuelve muy extenso longitudinalmente cuando sigue a la Trinchera de Acapulco (MAT): su continuidad es persistente aunque el tectonismo supera a la rapidez de sedimentación; no es incipiente aunque si relativamente joven y ha tenido al menos una reactivación a partir del Neógeno. Figuras Nos. 9 y 11.

El Macizo de Guerrero-Oaxaca de Alvarez (1949) se identifica a grandes rasgos con el Complejo Basal Metamórfico (i.e. Complejo Oaxaca de Ortega G. 1981 y los Esquistos Acatlán, de Salas, 1949; en Guzmán 1950) e incluye a los Terrenos-Mixteca y Xolapa, y probablemente al Terreno-Guerrero. La composición es muy variada, y ampliamente consistente en migmatitas y esquistos micaceos, sericiticos y cloríticos: El Terreno-Mixteca del Pre-Pennsilvánico, incluye metasedimentos clásticos, metavolcánicos y algunas intrusiones de composición ultramáfica; metaofiolitas, granito milonitizado y conglomerados.

En el Terreno-Zapoteca (Oaxaca) de edad anterior al Cámbrico Superior-Ordovícico o Pérmico, está compuesto de una serie basal estratificada y compleja de anortosita, y una secuencia superior de gneisses calcáreos y psammo-pelíticos así como granulitas incluyendo intervalos de gneisses de charnoquita llamado Complejo Oaxaca (Ortega G., 1981; en Grajales, op. cit.)

Y la tercera unidad es el Terreno-Xolapa el cual parece ser ubícuo en toda la porción Sur del Macizo, su edad, aún bajo discusión, parece ser pre-pennsylvánica (Grajales, op. cit). En su localidad tipo está compuesto en gran parte de facies migmatíticas de anfibolita, gneisses de marmol y esquistos. Presenta múltiples intrusiones de plutones graníticos del Terciario. Este Terreno es el más importante por su presencia en el medio Norte del área de este estudio, en el cual se define el límite continental, bajo el Océano Pacífico.

VI.3. LOS TERRENOS SOBRE EL COMPLEJO BASAL METAMORFICO EN EL BORDE GUERRERO-OAXACA.

De acuerdo con Salas (1949) y Jenny (1935), en Guzmán (1950), así como con las ideas de este último, durante el Paleozoico existieron las condiciones de depósito para aquellos sedimentos con la "formación de lutitas que tuvieron algunas fluctuaciones en la profundidad en las que se formaron calizas delgadas y areniscas. El mar en que se formaron estos depósisitos cubrió por lo menos toda la región de los Estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla y probablemente Michoacán y debe haber

prevalecido durante gran parte del Paleozoico ya que el espesor de estos sedimentos es muy grande. Durante la Revolución Appalachiana, al final del Paleozoico, estos sedimentos sufrieron dinámico y termometamorfismo, plegamiento y levantamiento, formándose las rocas metamórficas que ahora componen este Complejo Basal Metamórfico. Después del levantamiento se formaron cuencas separadas por penínsulas o lengüetas de tierra que formaron estas rocas ya metamórficas. En la parte centro-oriental del Estado de Guerrero se formó una cuenca y en el límite de los Estados Guerrero y Oaxaca se formó otra cuenca pequeña separada de la anterior por una lengüeta NS que pasa por Ixcamilpa, Puebla". La entrada a estas cuencas probablemente fué por el "Canal del Balsas" ya que según Schuchert (1935) en : Guzmán (1950), no hubo comunicación marina entre el Golfo de México y el Pacífico antes del Triásico-Superior. A continuación, Guzmán (op cit) describe, que estas cuencas continuaron durante el Mesozoico teniendo conexión con el Golfo de México en vez del Pacífico... "El mar del Triásico aparentemente solo invadió áreas pequeñas. Parece haber habido depósito durante esta época en la Cuenca de Oaxaca y en la de los límites de Oaxaca y Guerrero (Cuenca de Iapotitlán-Lagunas) quedando el Estado de Guerrero como continente y sufriendo erosión que dio origen a los sedimentos clásticos a lo largo de las márgenes de las cuencas". A grandes rasgos la región estudiada por Guzmán (1950) al Norte del área de este trabajo "consiste de una cuenca con sedimentos mesozoicos y postmesozoicos que rellenan

la parte baja del Complejo Basal paleozoico entre dos levantamientos de ese mismo Complejo. El espesor de esta serie excede de los 3000 m y es probablemente mucho mayor. Una lengüeta metamórfica similar a la mencionada, se encuentra en el Oeste del Estado de Oaxaca y su límite occidental fue encontrado cerca de Igualtepec, Oax. y de Alcozauca, Gro. El metamorfismo, esquistosidad y pliegues menores en las actuales rocas metamórficas se debe en total, probablemente a esa época de movimientos. Todas las estructuras en estas rocas así como la orientación de las lengüetas que forman los altos que dividen las cuencas tienen una orientación NS o NE-SW indicando que los esfuerzos fueron EW o NW-SE."

Las calizas del Cretácico Medio, cuando Guzmán (op cit) reporta su 'extensión superficial y distribución subterránea', son consideradas como "la formación mejor desarrollada y que cubre una gran extensión. Forma los cordones montañosos más altos (con excepción de las sierras metamórficas) en el centro de la cuenca. Tiene por lo general un rumbo NNE-SSW. En el subsuelo debe encontrarse debajo del área de Tlapa, Ahuacotzingo, Chilpancingo, etc!". En cuanto a la 'extensión superficial' de las capas del Cretácico Superior.."no cubren una gran área, pues están distribuidas dentro de una franja de unos 100 km de ancho en el centro de la Cuenca de Guerrero, zona en donde rellenan sinclinales con rumbo NNE-SSW. Estas capas no fueron encontradas en la Cuenca de Zapotitlán-Lagunas, ni tampoco en

la parte oriental de la Cuenca de Guerrero. En otro aspecto, se puede ver pues que las intrusiones graníticas al final del Cretácico plegaron las capas ya plegadas del Mesozoico y es a este segundo plegamiento al cual se deben los lugares donde el rumbo NNE-SSW de las formaciones tiene anomalías". Finalmente reportó que, "la Sierra Madre del Sur está compuesta principalmente por las intrusiones graníticas del post-Turonian y por los esquistos y rocas del Complejo Basal de edad pre-mesozoica, pero también tiene partes en que la caliza del Cretácico Medio forma las alturas de manera que posiblemente la Sierra Madre del Sur no es una unidad tectónica litológica". Respecto a los pliegues casi NS de la Cuenca de Guerrero, Jenny (1953) en Guzmán op cit) quien está de acuerdo, lanza la teoría de que pueden pertenecer tectónicamente a una continua ción al Sur de los pliegues de la Sierra Madre Oriental.

VI.4. EL CARACTER ALOCTONO Y PARA-AUTOCTONO DE LOS TERRENOS MARINOS

En esta geología histórica extraída principalmente del trabajo de Guzman (1950) resumida y concluyente en los lineamientos, se distingue muy bien, desde otro punto de vista, la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos si los movimientos verticales (epeirogénesis) son considerados como horizontales (epeiroforesis) con crecimiento continental hacia el occidente de terrenos alóctonos cada vez más jóvenes a partir del Terreno Zapoteca. Así quedan aproximadamente determinados los lineamientos tectónicos subparalelos (NS y NE-SW) apoyados por sus elementos estructurales tales como tendencias en los ejes

de los pliegues, orientación de esquistosidad, fallamientos o invasiones marinas desde el Norte, que avanzaron al Sur hacia un "Pacífico Ancestral" y cruzando a la faja que hoy ocupa el Terreno-Xolapa. Todos estos lineamientos aparentemente pierden continuidad hacia el Sur, por debajo de este terreno, el cual está francamente dispuesto en dirección perpendicular y es relativamente estrecho y largo. Esta disposición sui generis sugiere sea identificado como un terreno alóctono que obduce o se yuxtapone a los Terrenos Zapoteca, Mixteca y Guerrero en la zona de este estudio. Le sigue con la misma disposición contigua, el Terreno Mexica Submarino (prisma acrecionario) y bajo todos ellos el Terreno Oceánico del Coco (i.e. porción local de la Placa de Cocos); que no son autóctonos.

El Terreno Mexica Submarino del cuerpo acrecionado recibe su nombre de manera similar a los Terrenos Zapoteca y Mixteca (de Campa y Coney, 1983; en Grajales 1988) invocando culturas y lugares, como la Mexica de gran influencia en los Estados desde Jalisco a Chiapas, Guatemala y en la región de Guanacaste, Costa Rica. Se extiende de manera ininterrumpida a lo largo de la franja comprendida entre la Trinchera de Acapulco (MAT) y el litoral, a excepción de algunos puntos, como en el sur de Guatemala donde no existe o es incipiente. En la región del Golfo de Tehuantepec, el Terreno Mexica Submarino adquiere una expresión muy amplia. En la región de las penín

sulas de Nicoya y Osa de Costa Rica incluye una buena porción de cuerpos de afinidad ofiolítica.

De acuerdo con la definición de Terreno Tectonoestratigráfico (Coney et al., 1980; Jones et al., 1983; en Grajales, 1988), los nuevos Terrenos, aquí propuestos, cumplen con ser: una entidad geológica de extensión regional, limitada por fallas y caracterizada por una historia geológica diferente a la de sus terrenos contiguos. El Terreno Oceánico del Coco queda así definido, y clasificado como Terreno Estratigráfico porque está compuesto de secuencias coherentes, sedimentarias o ígneas, cuyas rocas del basamento pueden o no preservarse. Puede involucrar diferentes arreglos de asociaciones litológicas que reflejan uno o más ambientes de depósitos, tales como el continental, oceánico o de cuencas de arco de islas. El Terreno Mexica Submarino, queda clasificado, asimismo, como un Terreno Desmembrado caracterizado por bloques de litología y edad heterogéneas que se encuentran embebidos en una matriz de grauvacas, foliadas o serpentinizadas, Figura No. 11.

VII. EL ESTUDIO MORFOLOGICO

En general el Estudio morfoestructural involucra el análisis del paisaje geológico conceptualizado éste como el equilibrio del relieve en el presente y como producto de la interacción de fenómenos dinámicos endogénicos y exogénicos en la organización previa del subsuelo.

Los documentos cartográficos, es decir, la representación gráfica del relieve terrestre, tanto submarino como continental, respectivamente en la batimetría y en los planos hipsográficos; más allá de ser solamente una imagen de la realidad también son una herramienta tan preciosa como útil que conllevan un conjunto de indicios geológicos que normalmente no son aprovechados y sin embargo, algunos son atributos del relieve que pretenden ser marcadores vehementes.

Si durante la evolución de una estructura, ésta es capaz de reflejar los movimientos y rasgos nuevos de las rocas sustentadas y del ambiente geológico pre-existente; entonces el desarrollo de un modelo hipotético de trabajo deberá asimismo ser capaz de comprender y superar las restricciones adicionales que imponen las características del tipo particular de levantamiento de datos o imágenes.

Cada tipo de representación gráfica, fotogeológica, de percepción remota, etc., a una escala determinada, es la imagen única y temporal, de un estado de evolución integrante sin duda de varios episodios geológicos.

El lineamiento general hacia los objetivos del estudio morfológico parte del axioma en que se basa el análisis morfoestructural, que de acuerdo con Griboulard (1983) se apoya en una regla simple que estipula la acción de agentes de erosión alternando con procesos dinámicos propios, que siempre tienden hacia su fase final: el peneplano.

VII.1. METODOLOGIA

Ante la complejidad y el contenido de un documento de análisis como tal, de acuerdo con Fontas et al. (1984), es necesario ir más allá de la simple descripción fisiográfica de "ese presente" para intentar la estimación tanto de la naturaleza misma, como de la importancia del control geológico en la construcción de las formas naturales del relieve.

Para ello, R. Prud'Homme (1972) en Fontas (op. cit.) desarrolló el concepto y definió una metodología cartográfica interpretativa que permite abordar el estudio de las correlaciones entre la distribución de relieves y la organización del substratum: "Las informaciones proporcionadas por la superficie topográfica y la red de drenaje son interpretadas en términos estructurales y dinámicos según las aproximaciones que puedan tener las respuestas morfológicas y su significado genético probable".

Estos conceptos al ser aplicables a toda superficie, habiendo sido experimentados sobre los planos topográficos y batimétricos

cos de definiciones diversas se tiene que la metodología elaborada ha quedado inscrita desde su origen en el marco de un "Proceso de Marcha Analítica", que puede ser visualizada en la Figura No. 12.

Para llevar a cabo este procedimiento analítico, se tiene, en las configuraciones de la superficie y la red de valles, a los dos documentos básicos del análisis morfoestructural. Cada uno de estos objetos básicos constituyen un "paisaje" es decir, una visualización planar de una combinación de características morfológicas elementales que describen el modelado general. La variación de pendientes y el grado de disección del relieve, por ejemplo, se expresan por las heterogeneidades más o menos sensibles en el paisaje observado inicialmente. El análisis concede la mayor importancia a esas heterogeneidades porque nos dan los indicadores probables del acontecimiento morfológico.

Uno de los objetivos inmediatos de esta metodología consiste en aislar cada característica, evaluar las variaciones de sus parámetros y de reagruparlos en intervalos de valores, cuyos dominios del mismo gradiente, van a denotar continuidades y discontinuidades de rasgos estructurales y aún delimitarán provincias morfoestructurales. La interpretación morfogenética parte de la comparación de planos analíticos sucesivos en donde la independencia de resultados avala algunas verificaciones. Posteriormente, viene la integración de resultados de acuerdo al proceso de marcha analítica morfoestructural que sintetiza la figura citada tanto para el dominio marino como para el continental, y aun en ambos.

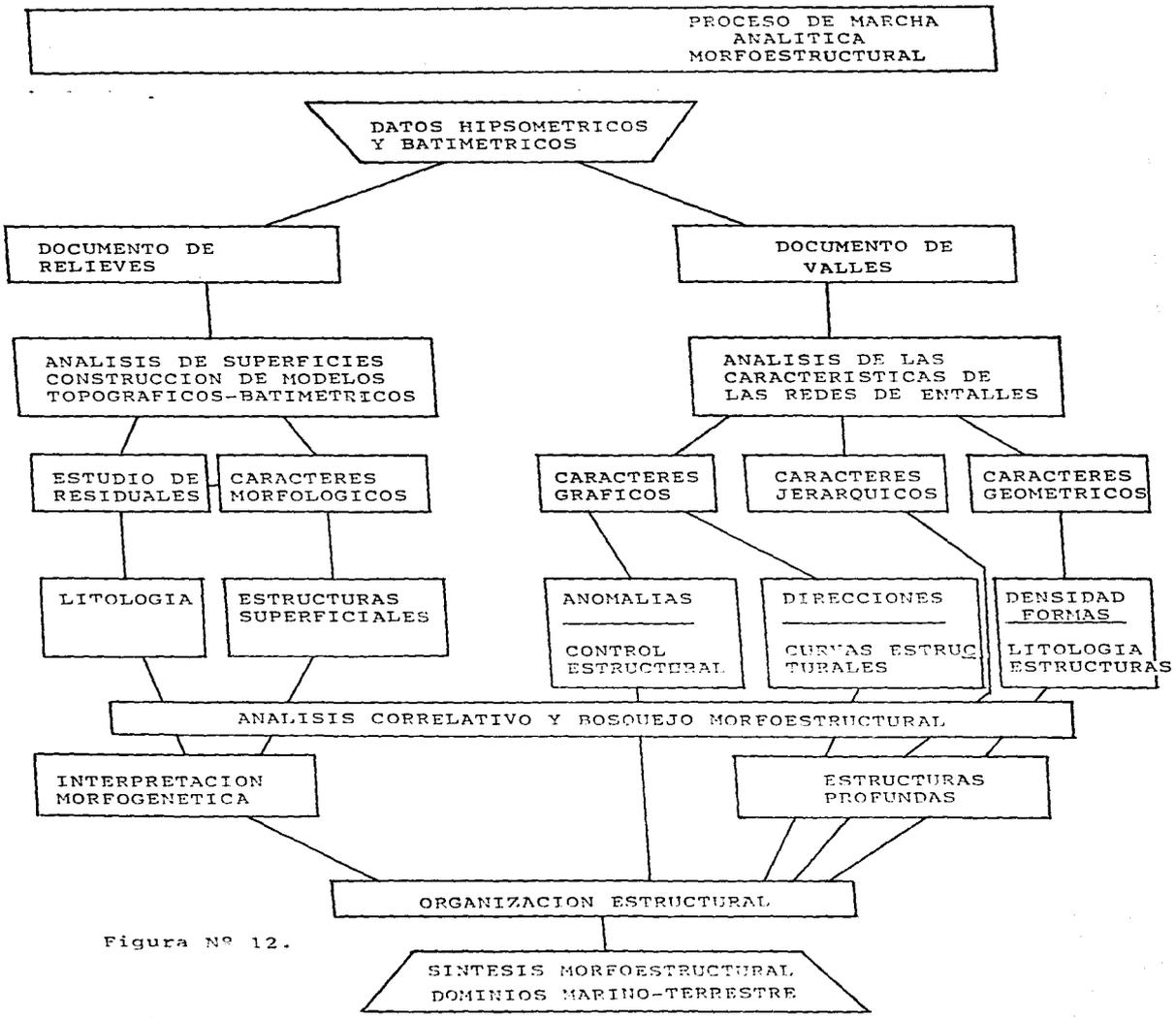


Figura Nº 12.

VII.2. GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA MORFOMETRICA

En los métodos morfométricos no se busca la multiplicación de parámetros para analizar, sino que se realiza una selección ra cional de ellos, que se analizan independientemente uno de otro y que nos llevan a la identificación única de rasgos estructurales mediante la aproximación por diferentes caminos. Con los procesos de manejo individual de parámetros se discute objetivamente el porqué éstos, en su arreglo, son capaces de expresar el comportamiento de los distintos elementos estructu rales, incluso, sin importar el carácter de la representación gráfica o el orden de magnitud de los parámetros; sean estos normalizados o no. El método elegido, el tratamiento aplicado, el proceso manual o numérico implicado y el objetivo final fijado constituyen en sí las restricciones impuestas en la selec ción de las características geomorfológicas, Figura No. 12.

En el primer documento de análisis, las superficies, son normal mente representadas por curvas de isovalores de altitud sobre el nivel del mar (hipsográficas) y profundidades bajo el nivel marino (batimétricas) es decir por el lugar geométrico de los puntos sucesivos donde una cierta cantidad conserva un valor constante.

En el segundo documento, la red de valles, que puede ser deducida de las superficies anteriores; puede ser definida como la representación del lugar geométrico de la sucesión de puntos ba jos del modelado, el cual es el producto de una evolución cons tante hacia un estado de equilibrio como ya se mencionó.

A continuación se bosqueja una definición de la morfometría considerando ésta como una parte de la Morfología, como uno de sus dominios que traslapa a la matemática cuando se cuantifican los caracteres de la forma del relieve, es decir, cuando se avoca a dimensionar los ejements estructurales, rasgos y parámetros superficiales de los relieves submarinos y subaéreos. Asimismo, se avoca a conocer las órdenes de magnitud del desarrollo y distribución morfoestructural de una región continental y/o marina así como, sus grados de variación relativa; como resultado de la geodinámica y sus efectos tectónicos consecuentes, como son los de erosión, transporte y depósito de rocas de la corteza terrestre. Figura No. 13.

La cuantificación se aplica sobre los efectos y resultados que han sido gobernados por la distribución de las unidades morfológicas y elementos estructurales; tanto volumétricos ocupando un área en el plano de la Corteza Terrestre, como planares señalando trazas en esa misma superficie, según se discutió antes.

Las diversas expresiones reflejadas por la actitud de una configuración topográfica-batimétrica, por una red de valles, así como por la identificación de su sistema; revelan o ponen de manifiesto algunos de los elementos estructurales geomorfológicos; los ejes y planos principales, las pendientes del terreno, el grado de desgaste local, etc. Asimismo, la estructura geológica que los controla, la tectónica en su expresión

METODOLOGIA MORFOMETRICA

PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION	REDES DE VALLES	RELIEVES Y SUPERFICIES	FENOMENO ANALIZADO
TERRENOS SUPERFICIALES	DENSIDAD PENDIENTES Y DENSIDAD A lo largo de perfiles	VIGOR pendientes.	EROSION Litología y Estructura
TERRENOS DE SUBSUPERFICIE	Direcciones CARACTERES GRAFICOS Anomalías. Obstáculos	Direcciones Anomalías, Simetrías	FALLAS, DIACLASAS JUNTAS
TERRENOS MUY PROFUNDOS	Caracteres ponderables de la Jerarquía de las redes.	Amplitud y Alcance de las Anomalías Regionales.	Accidentes tectónicos grandes y tectónica profunda

DOMINIOS DEL ANALISIS MORFOESTRUCTURAL. Modificado de J.J. Naudin, 1983.

Figura Nº 13.

superficial y la desigual resistencia a la erosión en las rocas bajo la superficie, y en ciertos casos, el acuse de rasgos o formas del basamento a profundidad. Este efecto frecuentemente sucede ya que existe una relación muy estrecha entre el rasgo superficial y el basamento, así, se puede obtener durante el procesamiento del documento idóneo, una respuesta directa a los movimientos tectónicos en la morfogénesis de los sistemas de configuración del relieve y de distribución de valles.

VII.3. APLICACIONES SOBRE LAS ZONAS DE TRANSICION CONTINENTE-OCEANO

Así, la metodología aplicada al análisis morfoestructural diferente de las convencionales, puede aportar información nueva acerca de las estructuras profundas de áreas complejas. Es muy útil ahí, donde las respuestas de los Métodos Geofísicos no han dado claridad en la interpretación del estilo de las deformaciones. Tal es el caso, como se ha visto, de los Métodos Geofísicos de Exploración aplicados en la investigación de las márgenes continentales activas. Sin embargo, su contribución en el análisis morfoestructural con documentos geofísicos proporciona, en la mayoría de las ocasiones, un apoyo y confiabilidad determinantes, a las técnicas de análisis morfométricos. Esta integración interdisciplinaria permite correlacionar lateralmente y a mayor profundidad algunos rasgos trascendentes en la interpretación. Es en este sentido, que por primera ocasión en nuestro país, se emprende un trabajo interdisciplinario geológico-geofísico en la margen continental del sur de México, localmente, en la zona transicional del continente-oceano, como ya ha sido mencionado. Los métodos empleados son,

por un lado, la gravimetría, sismología de reflexión y de refracción y por el otro lado, los métodos geomorfométricos, cuyos resultados se sintetizan en la última parte del trabajo en el capítulo de integración de métodos. Ahí también se concluye con la discusión de resultados cómo se ha podido determinar: la zona de influencia continental sobre la plataforma submarina, la presencia de la zona de transición delimitada y la definición de los taludes ante la trinchera.

En la integración de resultados geofísicos y de ciertos elementos de la morfología estudiada en una estructura analítica necesita, definitivamente a priori, de la determinación en cuanto a los parámetros a tomar en consideración según el objetivo principal, así como, en cuanto al tratamiento del área con las diferentes técnicas morfométricas. La selección racional de las características y parámetros necesarios y suficientes de acuerdo a la definición del documento objeto del análisis, indudablemente constituye la aproximación más definitiva y sin embargo la que más cuidado requiere.

En cada uno de los métodos geomorfológicos aquí empleados se hará una breve introducción a los fundamentos y se referirá parte de su metodología básica, aquí solo se bosquejan algunas generalidades de su aplicación en el área de estudio.

VII.3.1. El análisis morfológico del relieve continental y submarino.

El arreglo de superficies teóricas de un relieve regional se puede apoyar en la altura media de las cimas que tienden a definir un eje de la sierra y descien~~den~~ en plano inclinado hasta una poligonal que sigue la línea de costa para terminar en la traza del eje de la Trinchera. Estas tres líneas de apoyo son subparalelas entre sí y están muy apegadas a la realidad. La faja angosta del plano costero oscila un poco por encima de las superficies regionales.

VII.3.2. El análisis morfológico de plataforma y taludes continentales.

Puesto que el arreglo de plataforma y taludes está definido por la superficie configurada de la batimetría y está ligada a un apoyo bien determinado en tierra, este hecho nos permite obtener una información exacta de las estructuras infrayacentes.

VII.3.3. El análisis de las redes de valles submarinos y subaéreos.

Los arreglos estructurales en el área de estudio se pueden inferir del procesamiento de la red de disecciones, thalwegs, valles, surcos y cañones submarinos.

Es indiscutible que la porción de los mares en la superficie terrestre enmascara los fondos submarinos e impide de manera natural la observación directa de las estructuras del subfondo oceánico. Sin embargo, la Metodología Geomorfológica ofrece la

oportunidad de conocer con cierta precisión la morfología submarina y la organización de las estructuras geológicas sumergidas en la medida en que, a partir de una simple representación gráfica de la topografía submarina, haga posible la operación de una hipótesis que explique las relaciones que existen entre las estructuras y la morfología.

VII.4. VALIDEZ DEL ENSAMBLAJE MAR Y TIERRA

En estas condiciones las aplicaciones sobre los continentes parecen ser más sencillas, y si es así, serán más factibles las correlaciones mar y tierra, inclusive derribando una vez más la "Valla Geológica" mental, que históricamente ha impuesto la zona de rompiente litoral a la geología del subsuelo. Esta valla como obstáculo de trabajo, ya ha sido superada con anterioridad, con los avances del Estudio de Ambientes Deposicionales aplicado a los clásticos terrígenos, a los carbonatos de plataforma continental y a las evaporitas costeras.

Bien sea, que la marcha del proceso analítico se desarrolle para la porción de altamar, por separado la porción tierra adentro y para entonces, ensamblar los resultados del modelado: O bien, que la aplicación de la metodología se haga en mar y tierra en un modelado continuo, lo cual es aparentemente el caso óptimo.

En ocasión del trabajo de integración se ha aplicado la marcha del proceso analítico de la morfología, simultáneamente, en mar y tierra, no obstante que los planos topográficos de ambos

dominios tienen diferentes orígenes y escalas; convirtiéndose así en un problema de restitución cartográfica y de muestreo de los datos (Froidefond et al., 1978), lo cual ha sido superado mediante correcciones y ajustes pertinentes.

Si el proceso de la marcha analítica por un lado, parte de los dos tipos de documentos diferentes, la superficie hipsográfica-batimétrica y la red de sistemas de valles, y si por el otro lado, sus correlaciones aún permanecieran en duda en cuando a la representatividad realista de su continuidad hacia ambos la dos de la falaz valla geológica; Prud'Homme (1972) ha demostrado la validez de tal asociación mediante un análisis fraccional (i.e. fractal) aplicado en los sistemas de drenaje en el Golfo de Gasconia en el Océano Atlántico y la Planicie de las Landas del SW francés. El estudio fraccional compara las relaciones entre valores, tanto de las longitudes de talwegs como de las órdenes de Jerarquía de los sistemas de valles, submarinos y subaéreos, puesto que las leyes del drenaje (de coeficientes de bifurcación y jerarquía) definidas por Horton (1945) en Naudin (1982) siguen una progresión geométrica inversa; son aplicables en el dominio marino y también en el terrestre. El empleo de los métodos de análisis morfoestructurales se justifica cuando los tipos de arborescencia son más similares. Estas distribuciones geométricas se resumen y cotejan mutuamente en la gráfica semilogarítmica donde el paralelismo que muestran sugiere la justificación y representatividad del ensamble del modelado mar y tierra. El área de estu-

dio involucrada, mar y tierra, debido probablemente, a la madurez temprana del ciclo geomórfico del sistema total de valles tierra-mar, el análisis fraccional se verifica satisfactoriamente, Figura No. 14.

Finalmente la interpretación morfoestructural que se realiza del proyecto, integra los resultados de los diferentes métodos moriométricos después de seguir los lineamientos y fases sucesivas aplicados de "La Démarche Analytique de Morphology" de la Escuela Francesa de Geomorfología de la Universidad de Burdeos-I y cuya secuencia se ilustra en el Organigrama de la Figura No. 12.

VII.5. EL METODO EN LAS MARGENES CONTINENTALES ACTIVAS

En los siguientes párrafos se refieren algunos antecedentes de la aplicación general de algunas técnicas morfométricas cuya particular intervención en margenes continentales activas, ha demostrado un potencial en la resolución para analizar las distribuciones de relieves y la organización litológica-estructural profunda. Asimismo, a partir del estudio de superficies y disecciones, ya sean estas submarinas o terrestres, involucradas en cada plano obtenido para el análisis, será susceptible de ser procesado con filtros y técnicas numéricas para descifrar la información adicional relativa a la distribución estructural cuyas resoluciones dependerán no

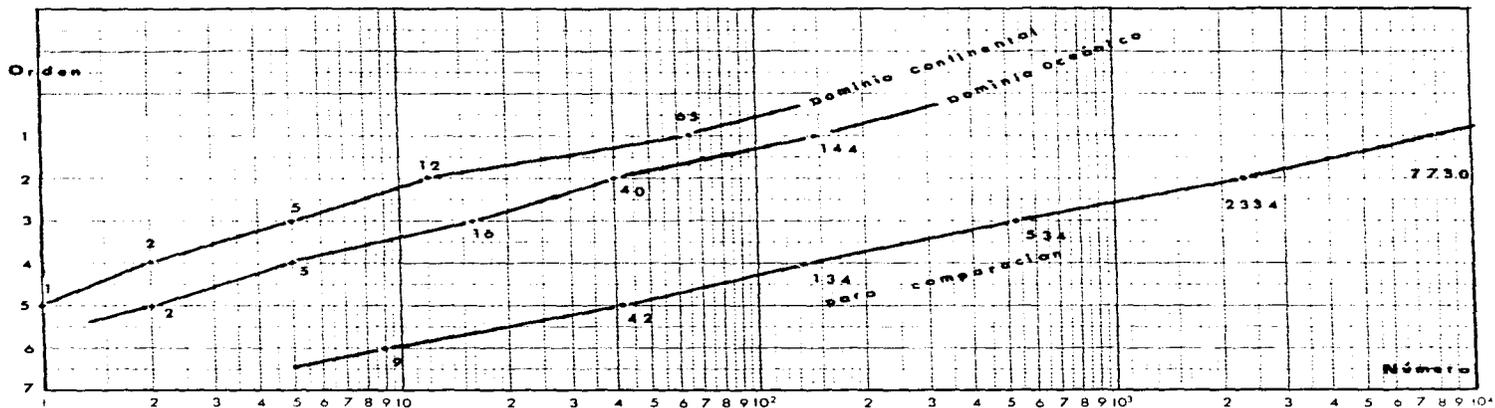


Figura N° 14. Relación: N° de Tramos de entalles-N° de Orden en el ensamblaje submarino-subaéreo del área estudiada (Figura N° 25). Se muestra una buena relación de jerarquías a juzgar por el grado de paralelismo de las rectas fractales de ambos sistemas de valles en distintos dominios. El segmento de recta mayor muestra, para comparación, un ejemplo típico en el cual se verifican las leyes de crecimiento alométrico de Horton y Schumm para las redes subaéreas.

solo de la profundidad de investigación, sino también, tanto de las condiciones geológicas locales como de la precisión de las configuraciones.

Por otro lado, se ha demostrado que en este tipo de regiones de trinchera, "el análisis morfoestructural realza la influencia directa del espesor sedimentario y su litología en las etapas iniciales del proceso acrecionario y muestra la porción prominente que toman las estructuras de la placa subductiva (fallas y promontorios oceánicos) en la evolución de un prisma acrecionario" (Fentas et al., 1984).

Dado que se trata de una estrategia diferente a las convencionales, esta metodología puede proporcionar nuevas y valiosas informaciones analíticas sobre la composición y disposición de las estructuras profundas de áreas complejas; lo cual es muy útil cuando la respuesta geofísica relativamente profunda no ha estado disponible para obtener una interpretación clara sobre el carácter de las deformaciones. Este es el caso de algunos segmentos de la Trinchera Mesoamericana y sus taludes, particularmente en el área de este trabajo; pues también, en algunas partes, el talud continental inferior de un sistema acrecionario reciente exhibe deformaciones tan intensas que no se puede reconocer estructura alguna mediante perfiles de reflexión sísmica continuos.

En el aspecto regional del Estado de Oaxaca se tiene noticia de un trabajo morfoestructural aplicado a estudios previos de

temblores, de Sumin et al. (1979), quienes por medio del estudio de las formas y características del relieve, apoyado en mapas topográficos y geológicos a escala 1:1,000,000 y otros datos geológicos o de satélite; interpretaron algunos elementos estructurales continentales como domos, bloques tectónicos y lineamientos, en las superficies configuradas. De entre ellos, se infirieron sus desarrollos y relaciones, se diferenciaron zonas de fallas activas, inactivas y reactivadas. El arreglo de bloques así delimitados mediante un Sistema Ortogonal de discontinuidades, aparentemente verticales, presenta diferentes elevaciones implicando movimientos verticales. Sugirieron asi mismo, una correspondencia entre la actividad sísmica y las estructuras tectónicas reportadas y, de acuerdo a este análisis morfoestructural, plantearon que los epicentros de temblores fuertes podrían estar localizados, bajo ciertas condiciones, en la intersección de las fallas activas de dirección $N65^{\circ} \pm 5^{\circ}W$ con las importantes fallas reactivadas de direcciones N-S y E-W del Sistema Ortogonal asociando la actividad tectónica y al fenómeno de subducción reciente. Después de disgragar sobre la serie espacio-temporal de eventos sísmicos alrededor del temblor de Oaxaca del 29 de noviembre de 1978 afirman que tal correspondencia se cumple. En particular, sugieren que la importante falla de tendencia $N30^{\circ} \pm 5^{\circ}E$ en la región de Pinotepa Nacional, Gro. podría ser el reflejo de una fractura de la Placa de Cocos sobre el relieve de la Placa Continental Norteamericana.

VII.6. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE UNA SUPERFICIE:

La digitización de superficies y su tratamiento computarizado priva de toda operación visual y solamente se tiene el paisaje de valles y áreas divisorias, es decir, la variabilidad extrema del vocabulario morfológico clásico. De ello, se dispone solamente de las amplitudes y longitudes de onda, los máximos y mínimos, los gradientes, los grados de convulsión o de ecuaciones polinomiales. Es decir, un cierto número de elementos que son factibles de hacerlos intervenir o no en el análisis. El procedimiento es por lo tanto del mismo tipo que el procedimiento morfoestructural (R. Prud'Homme y Naudin J.J., 1971) ya sea que el arsenal de matemática esté vacío de todo contenido interpretativo o que sea solamente descriptivo de las heterogeneidades; de cualquier manera, sus índices morfológicos son los únicos que propician el análisis morfoestructural, (Naudin, 1983), Figura No. 13.

VII.7. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL RELIEVE:

Se pueden observar las características morfológicas de una superficie en su configuración gráfica, puesto que es un arreglo, en perspectiva, de curvas de isovalores y quedan definidas cuando se toman en cuenta, la forma de cada curva y las relaciones que guardan entre sí. Básicamente, éstas son las consideraciones que llevaron a Naudin (1981) a identificar las características morfológicas de los relieves... Así, los si

guientes cuatro parámetros relativos a las curvas de isovalores y a las relaciones entre ellas parecen ser suficientes para representar la variabilidad de las superficies: Sinuosidad (o rugosidad), curvatura máxima y mínima, gradientes, espaciamiento entre curvas y la tendencia de ellas. El cuadro sinóptico de la Figura No. 15, ayuda a ilustrar sus implicaciones.

Otro método analítico relevante es el que cubre exhaustivamente la totalidad del área de estudio mediante la elaboración de sus superficies teóricas de 1er, 2º, 3er y otros órdenes así como el Método de Ruptura de Pendientes. En la otra fase paralela de "La Demarche Analytique" están los procesos aplicados al análisis morfométricos de los sistemas de valles, los cuales también se aplican en este estudio.

La distribución de los índices de rugosidad, dá la información sobre la intensidad del relieve, se puede utilizar conjuntamente con el análisis de pendientes, ya que de esa manera definen información más precisa sobre la litología.

Las zonas de poca rugosidad corresponden a las regiones donde el relieve está suavizado y cubierto de depósitos arenosos mientras que los relieves altos y abruptos o profundos, de fuerte rugosidad se encuentran en las regiones donde las rocas parecen estar más desgastadas y las influencias estructurales son más visibles (Prud'Homme, 1972).

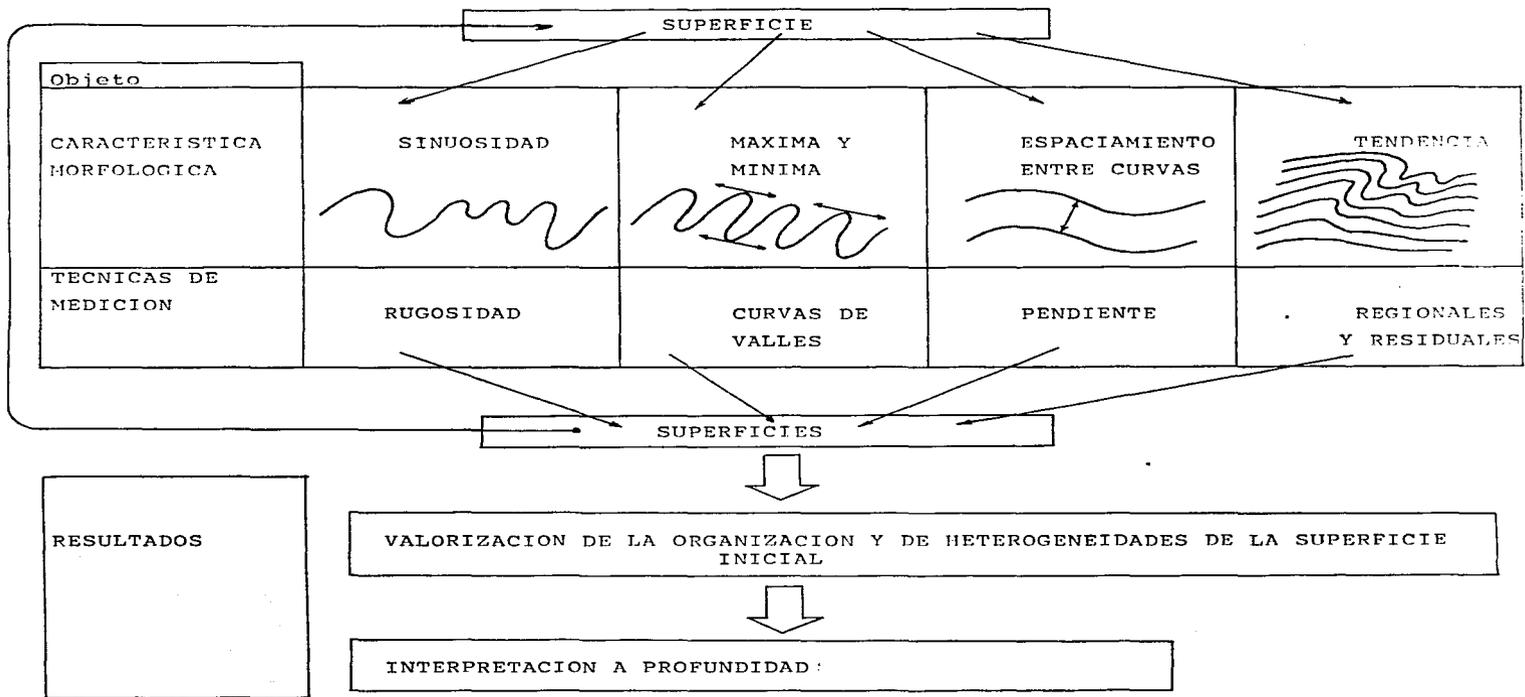


Figura Nº 15. Diagrama del Sistema Analítico.

Según J.J. Naudin, 1983.

Cuando la elaboración de las superficies regionales es difícil de ejecutar, se recurre a la elaboración de las Superficies Envolventes, como sería en el caso de regiones que tienen un relieve acentuado y muy contrastante; se componen de curvas de isovalores que se apoyan en valores reales, de tal manera que, las configuraciones se determinan a partir de elementos propios del relieve sometido a estudio. Esta nueva superficie queda constituida por los lugares geométricos de curvas representativas que ofrecen, para entonces, un trazo optimizado del relieve. Es decir, de manera inversa a la superficie regional, los parámetros constitutivos de la Superficie Envolvente son directamente extraídos del relieve real. Este análisis permite definir las zonas de grandes discontinuidades (i.e. desprendimientos) en pilares y fosas los cuales se identifican cuando se manifiestan por sus zonas bajas. Se pueden asimismo, inferir los altos estructurales tipo "horst" los cuales están representados por zonas elevadas; así entonces los procesos a utilizar aquí son como sigue:

VIII. REALIZACION

VIII.1. ANALISIS DE RELIEVES:

Para el análisis de relieves de las superficies el esfuerzo se orienta más particularmente hacia el estudio de los parámetros con los siguientes métodos a partir de la Superficie Real, Figura No. 16: que muestra el relieve submarino y subaéreo:

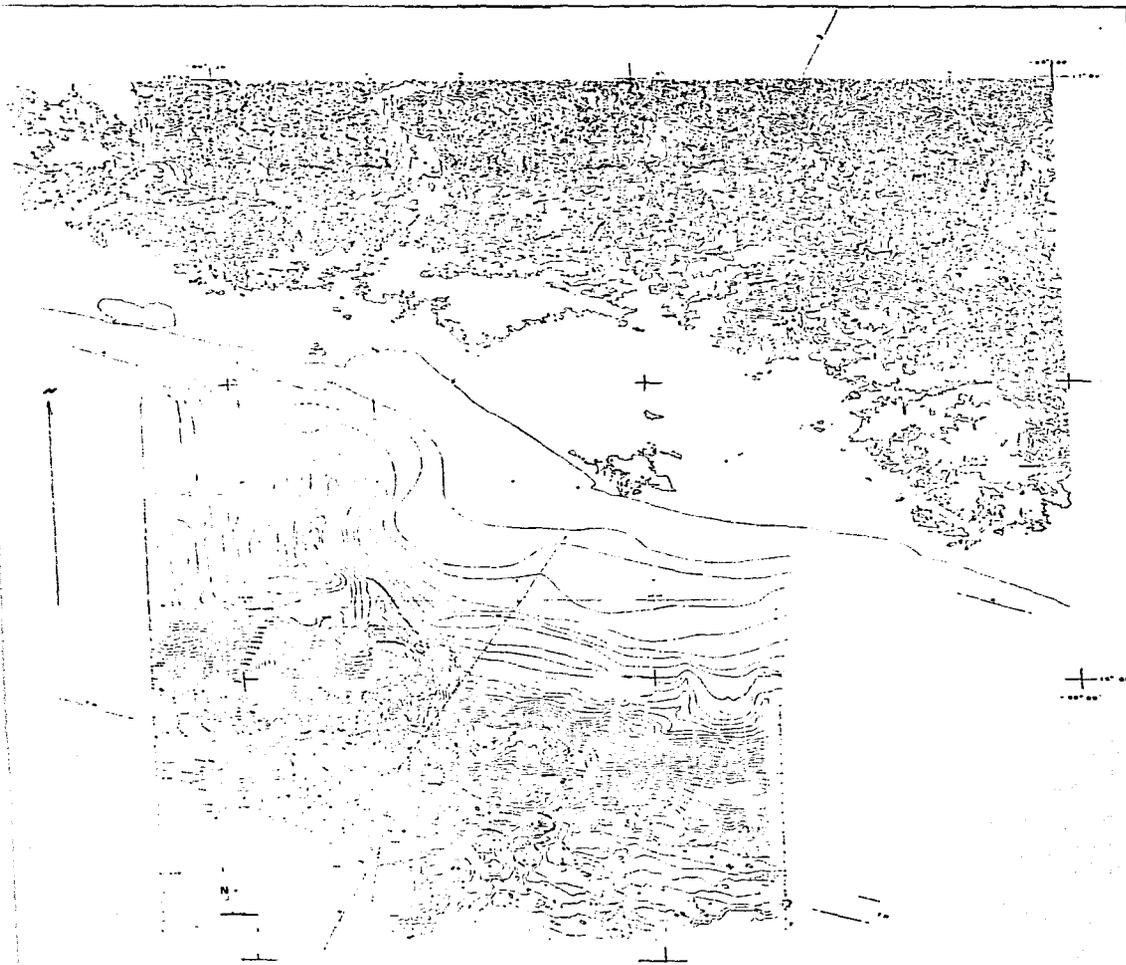


Figura Nº16. Superficie Real, batimétrica-hipsométrica

- a) Elaboración de Superficies Teóricas y Superficies Envolventes (obtención de sus Residuales).
- b) Estudio de Desniveles Maximales y de Variaciones de la pendiente (obtención de sus Distribuciones).
- c) Estudio de la Distribución de Caracteres de Rugosidad o Vigor de Relieve.

VIII.1.1. Superficies teóricas:

De manera general y cualquiera que sea el medio considerado, se puede siempre concebir una Superficie Teórica simple, modelada por una actividad cualquiera, erosiva o tectónica ejerciendo su acción cuando sigue a la línea de máxima pendiente sobre un material homogéneo e isotrópico. Esta superficie manifiesta un fenómeno erosivo o tectónico regional y se podrá comparar con la superficie real.

Entonces se hace aparecer todo aquello que diferencia a la realidad de esas condiciones ideales ya establecidas, entre otras cosas, las heterogeneidades y anisotropías del material que tienen por origen, a causas tectónicas, litológicas o gliptogénicas.

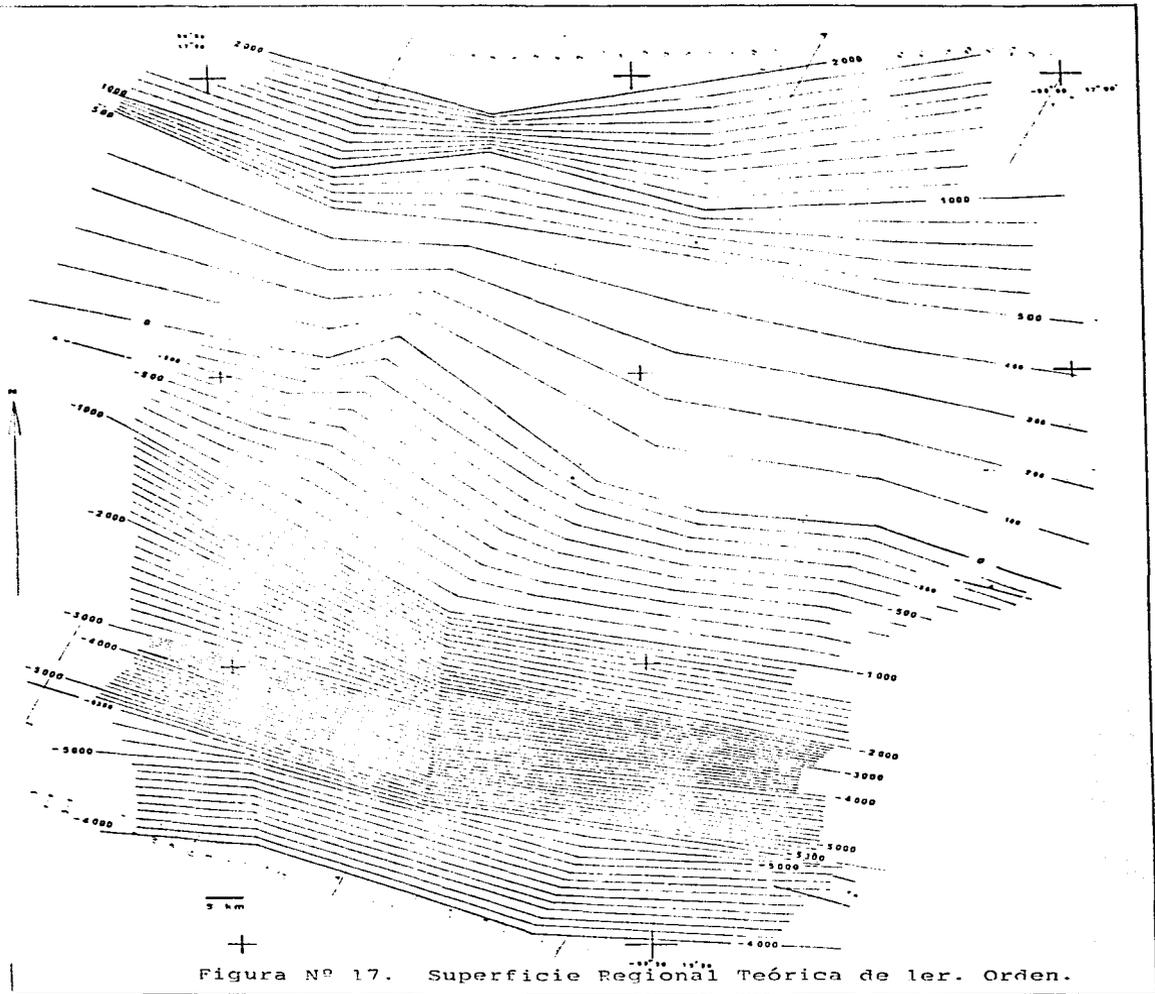
En la práctica se procede por etapas sucesivas:

Se construye la Superficie Teórica Regional, la más simple posible, dicha "Superficie Regional de 1er. Orden" y su confección misma, se obtiene a partir de contornos suavizados de curvas de la superficie real, por ejemplo, para el trecho entre

la línea de costa y la isobata de -4 km, o desde los 2000 msnm. Se trazan las curvas intermedias de modo que determinen una pendiente constante (Figura No. 17), esta se sustrae enseguida punto por punto a la Superficie Real. Se obtiene una nueva superficie, la Residual, con los contornos de igual diferencia entre los caracteres de forma. Esas diferencias o anomalías serán ya sea hacia arriba (positivas) ya sea hacia abajo (negativas) de la superficie de referencia en donde la pendiente regular y uniforme permite definir la apariencia cóncava o convexa de la topografía estudiada Figura No. 18.

En ciertos casos se podrá así, tener esta primer superficie regional, sin embargo, en la medida de lo posible, convendrá elaborar una nueva superficie teórica, dicha Superficie Teórica de 2° Orden está constituida asimismo de elementos simples de superficie que se articulan entre sí y representan un modelo interpretativo de anomalías ya puestas en evidencia anteriormente. Por comparación con la superficie real se llega a la elaboración de una superficie Residual de 2° Orden, Figuras Nos. 19 y 20. Y así se procede hasta que no subsista más, alguna anomalía importante. Se tendrá entonces una superficie regional de enésimo orden muy próxima a la superficie real pero construida a partir de elementos de superficie conocidos, muy individualizados.

Un ejemplo de superficies teóricas de enésimo orden, sería muy semejante a la mostrada en la Figura No. 21, y es muy cercana a la realidad.



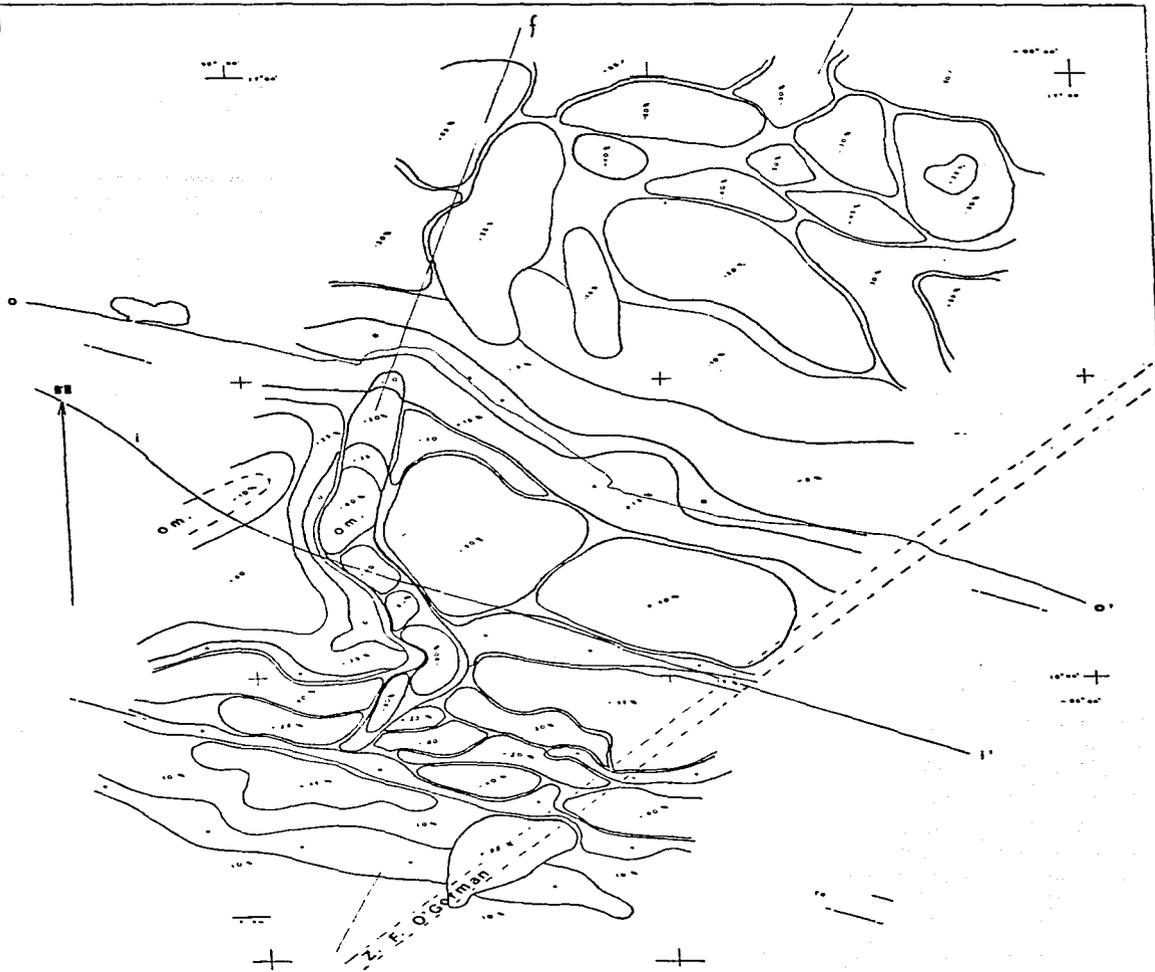


Figura Nº 18. Superficie Residual de 1er. Orden.

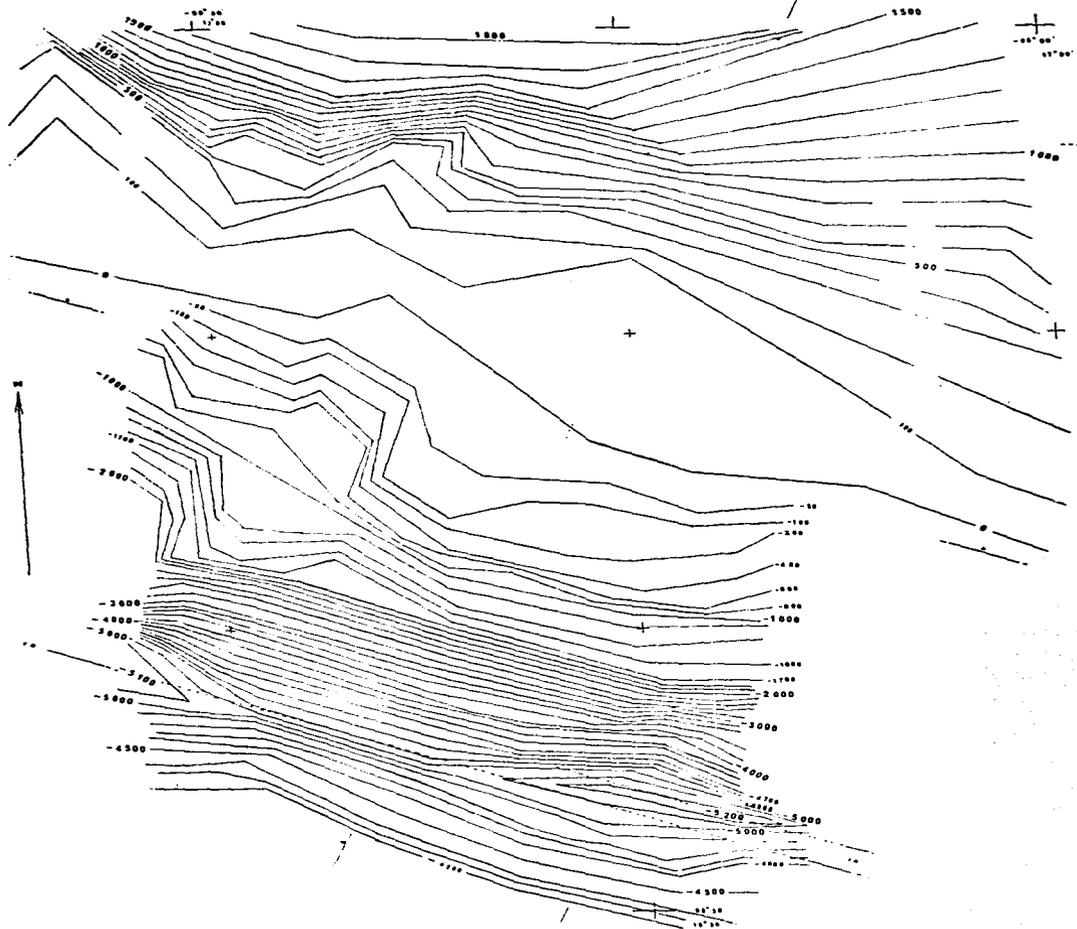
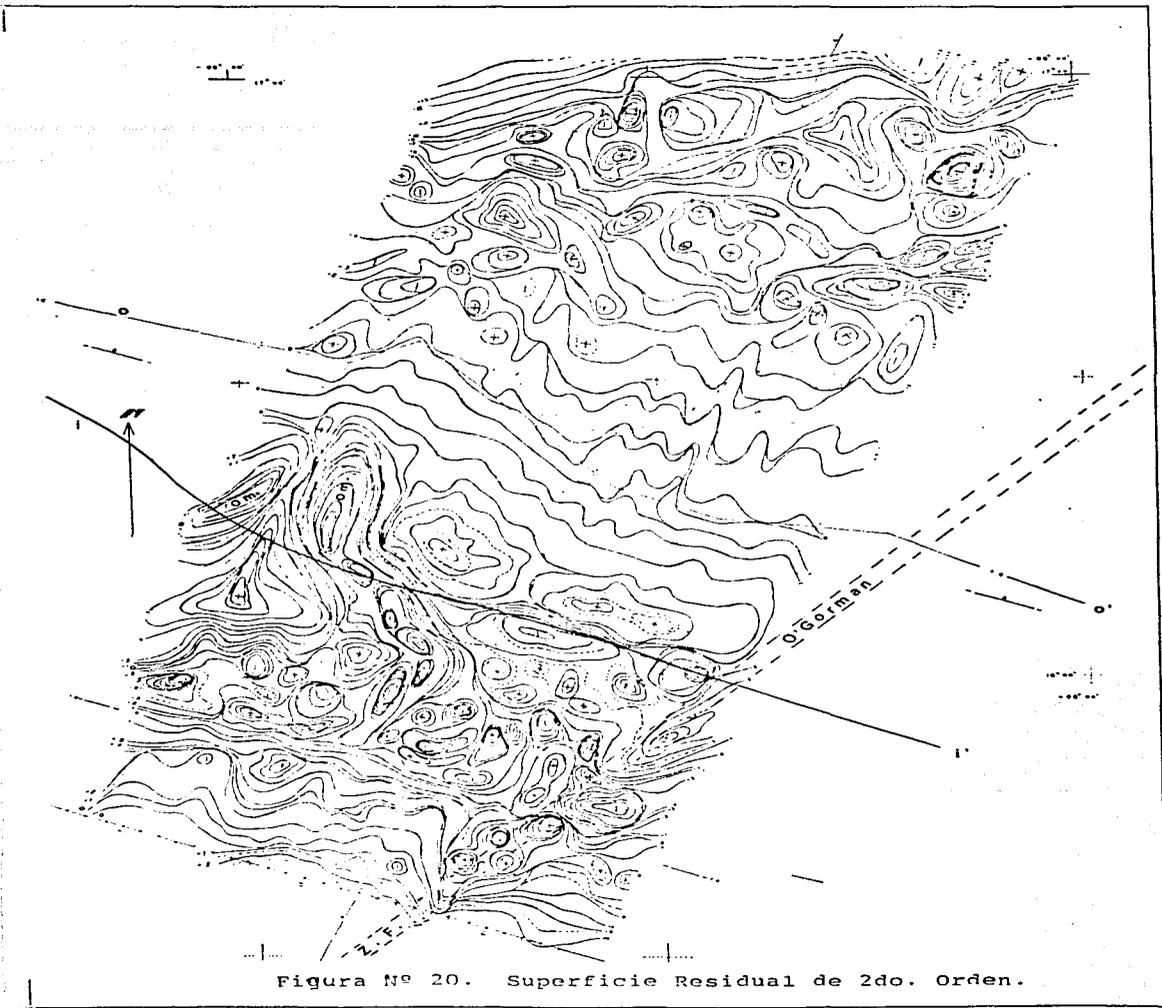


Figura Nº 19. Superficie Regional Teórica de 2º Orden.



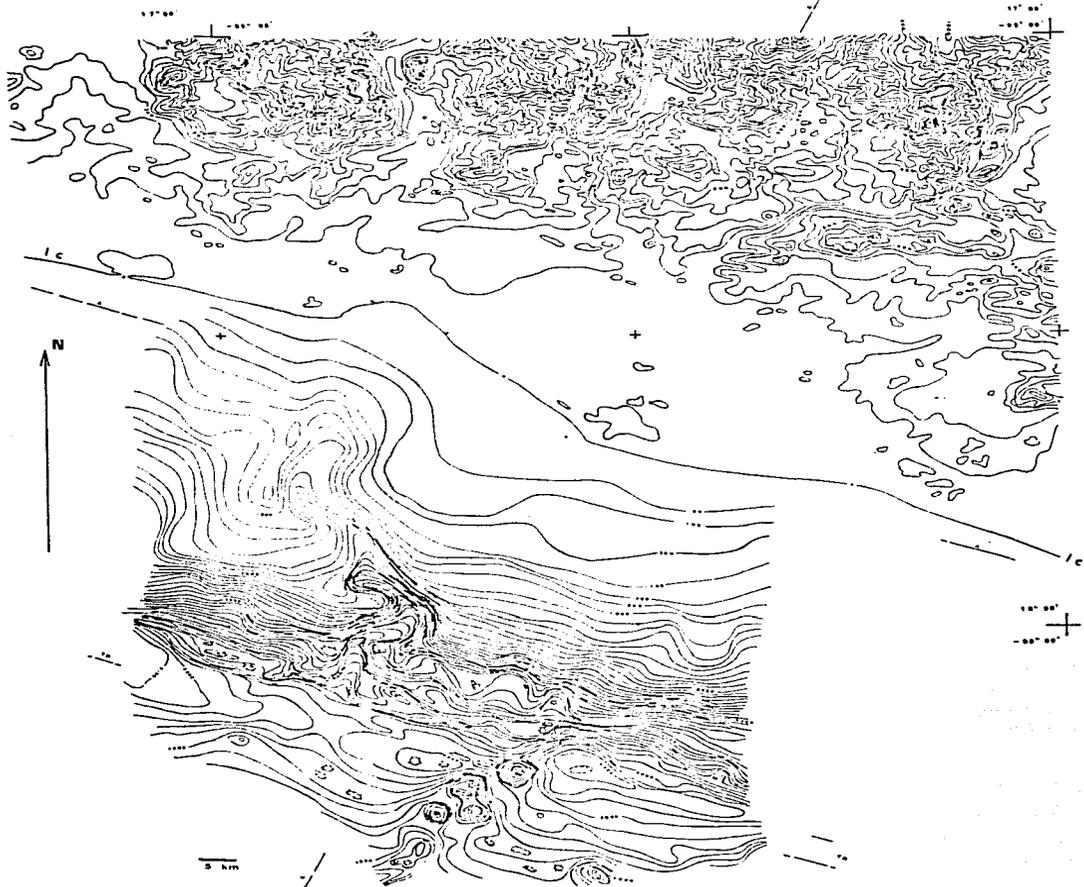


Figura N^o 21. Superficie Regional Teórica de enésimo Orden, como se observa es muy cercana a la "realidad".

VIII.1.2. Superficies envolventes:

En ciertos casos la realización de superficies teóricas a causa de las zonas de relieve muy acentuado y contrastante, se puede mostrar muy delicada e incluso imposible; entonces se utiliza una técnica semejante a esa, que concierne a su principio básico pero diferente en su realización. Esta consiste en trazar, a partir de datos reales, una superficie muy simple con relación a la real. Sus curvas representativas, lugares geométricos de la sucesión de puntos de igual valor, representarán, asimismo, la optimización de los trazos. Se puede por consiguiente trazar una Superficie Envolvente de puntos altos; por ejemplo, en los que los parámetros constitutivos serán directamente extraídos del relieve real y no más de un relieve aparentemente ficticio como en el Regional Teórico.

En el caso del dominio submarino inmediato, parece ser bastante difícil utilizar tal método, porque la intensa sedimentación en ciertos sectores falsea la hipótesis planteada con anterioridad.

VIII.1.3. Estudio de pendientes:

El estudio de pendientes puede ser emprendido de varias maneras: a) Perfiles Seriados, b) Desniveles Maximales, c) Estudio Puntual. La metodología en particular radica en el análisis de interfluvios o superficies divisorias, las configuraciones vienen a ser muy semejantes a aquellas de las deriva-

das sucesivas obtenidas en los Métodos Geofísicos donde se analizan hasta un 2° grado los fenómenos ya cartografiados.

VII.1.4. Perfiles seriados

Los Perfiles Seriados se realizan mediante cortes verticales transversales, entre la costa y la isóbata de 200 m y de esto de una manera regular a lo largo de la plataforma continental. Pudiendo ser, el perfilaje, desde lo alto, a partir de un eje de la sierra a unos + 2000 msnm hasta el eje de la trinchera si se va a analizar la transición océano-continente. Se levantan enseguida todos los cambios de pendientes sobre esos cortes verticales y gracias a una simple evaluación estadística (de dominios) se anotan los valores, los de mayor frecuencia y se grafica su distribución (Figuras No. 3, 22 y 23).

VIII.1.5. Desniveles maximales

Los Desniveles Maximales son los parámetros que se analizan en el método cuando se evalúan las variaciones de espacio entre las curvas batimétricas o hipsográficas, se trata en esta ocasión, de efectuar mediciones sistemáticas en el interior de un reticulado, lo cual hace al análisis en ciertos casos muy largo y tedioso sin lograr una buena compensación. Puesto que es posible, aunque muy laborioso, también calcular la pendiente media de la superficie de una malla de medición, por eso mismo se habrá de preferir evaluar los desniveles maximales observados en el interior de un reticulado de medición de la longitud de un segmento rectilíneo.

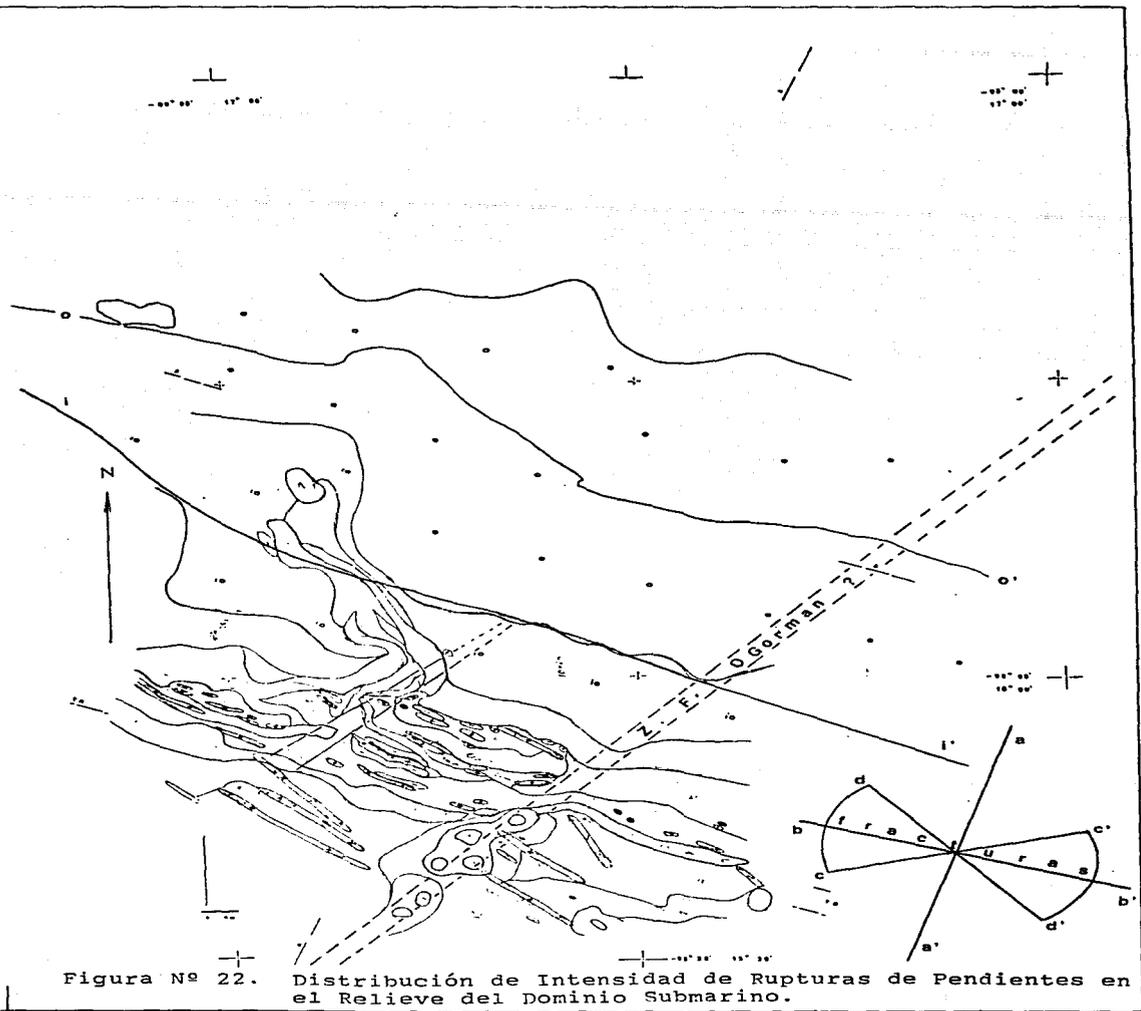


Figura Nº 22. Distribución de Intensidad de Rupturas de Pendientes en el Relieve del Dominio Submarino.

VIII.1.6. El estudio puntual

El Estudio Puntual consiste en el análisis de las mediciones de valores de pendientes sobre todas las porciones distintivas de la superficie principalmente en la planicie costera y la plataforma donde en particular, se constata que la gran amplitud de este espacio estudiado no aporta una respuesta favorable, ya que si bien dá resultados precisos, no deja de convertirse en un método largo y difícil de realizar.

Para el estudio de la variación de pendientes en superficies alabeadas se tiene que, en general, las vertientes y en particular las pendientes ofrecen una diversidad muy amplia de formas. Para esto Young (1954) y Savigear (1956) en Naudin y Prud'Homme (1971) han presentado algunas clasificaciones interesantes. Estos autores descomponen las vertientes y sus pendientes en tramos geoméricamente simples que denotan muy bien la distribución de los cambios (i.e. rupturas) de pendientes observables a partir de los cambios de curvatura de formas complejas de vertientes.

La distribución de valores de la pendiente está en función de las características físicas del material. Los materiales resistentes presentan una pendiente fuerte y los materiales menos resistentes muestran valores de pendiente débil. Una variación de pendiente de valor alto (cambio o ruptura brusca) a menudo puede materializarse en una discontinuidad que denuncia una discordancia, una falla o un contacto, (Figuras Nos. 22 y 23).

PLATAFORMA CONTINENTAL

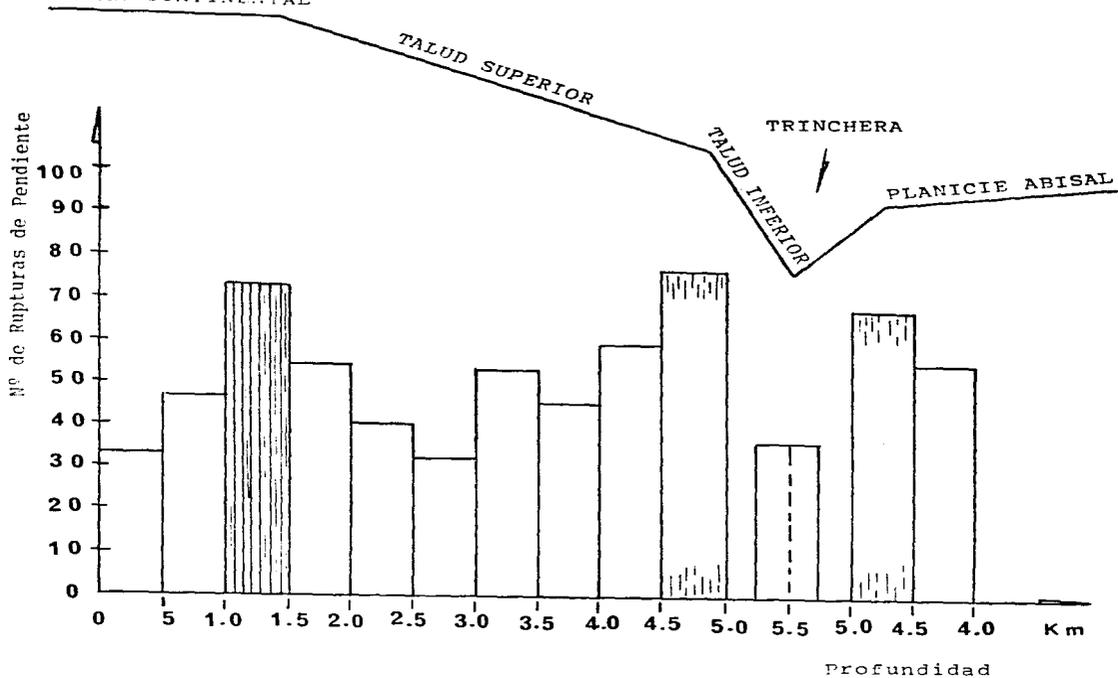


Figura N°23. Histograma de Rupturas de Pendientes el cual muestra la mayor frecuencia de rupturas en la franja entre las isobatas de -1000 a -1500 m bajo las cuales se asume el Límite del continente. La mayor frecuencia observada está en el talud inferior debido a la alta deformación inmediata al inicio del acrecionamiento de cuñas sedimentarias. La tercera franja de alta frecuencia está acusada por el inicio del fracturamiento de tensión por la subducción.

El análisis con mediciones de pendientes puede ser realizado sobre las regiones con relieve poco accidentado, sobre el documento de análisis, se trazan los cortes transversales siguiendo en lo posible, a la ortogonal, a las curvas de nivel hiposográficas y/o batimétricas. En el caso donde las curvas de nivel son muy sinuosas se deben trazar las secciones transversales lo más próximo entre sí para un mejor análisis.

Se puede observar sobre la Figura No. 22 que la falta de información tierra adentro, es debido a la poca resolución de detalle del método en el terreno demasiado accidentado o demasiado llano.

VIII.1.7. Estudio de la rugosidad o vigor del relieve

Este análisis parte del hecho de que los relieves presentan un cierto número de disecciones que no son en realidad otra cosa que el reflejo de la respuesta de un substratum a la acción de los agentes erosivos. Es decir, se trata de cuantificar la ocurrencia de accidentes del relieve al estudiar las variaciones de frecuencia de altos y bajos (cimas y hondonadas) de una topografía, en la que se supone, que las variaciones están ligadas a la cualidad que imprime la erosión sobre el substratum; lo cual depende directamente de la naturaleza de éste.

La medición sistemática en el interior de una rejilla, de un índice particular de rugosidad, es la base de este nuevo método. Dicho índice es igual al número de veces que una curva batimétrica o hipsográfica cualquiera, corta a la circunferencia circunscrita a la unidad de malla de la rejilla, sin preocuparse de saber si la misma curva corta varias veces a la circunferencia.

Los valores obtenidos se llevan al centro de las diferentes circunferencias y así las medidas, no se hallan influenciadas por una dirección preferencial puesto que se hacen a través de una circunferencia, las curvas son cortadas y "recortadas" puesto que las circunferencias se traslapan en cierta proporción y a la vez acusan una noción de la intensidad del relieve, así como una noción de su desglosamiento puesto que la misma curva puede recortar más veces a una circunferencia que a otra. La utilización de una rejilla circular ciertamente dá mejores resulta-

dos que una hexagonal o cuadrada, pero resulta con ella, un trabajo muy meticulado.

VIII.2. ANALISIS DE VALLES O ENTALLES

En las redes de disecciones naturales del relieve la terminología de: los surcos, valles o cañones submarinos observables en la batimetría, tienen sus contrapartes: los valles, vaguadas o thalwegs correspondientes en la topografía continental. Los sistemas de valles submarinos y subaéreos que conforman redes aparentemente independientes, en muchas ocasiones están asociados, aunque la continuidad de un dominio al otro no sea tan evidente. En cualquier caso, sus redes de valles terrestre, marina o mixta pueden ser el objeto de estos tipos de análisis especializados de la Morfología. Y en efecto, como también ya se refirió, las relaciones que existen entre el número y las longitudes de tramos de disección por un lado, y su jerarquía, por el otro, son perfectamente comparables para los dos tipos de redes (Prud'Homme, 1972, Op cit.). La Figura No. 25 muestra el ensamble de los sistemas de valles submarinos y subaéreos sobre la transición océano-continente; sur de Guerrero-Oaxaca.

Es bien consabido, que la determinación del carácter de un drenaje sobre el terreno está en función de varios fenómenos naturales. La red de valles puede definirse de acuerdo con Naudin (1971) como "un sistema en perpetua evolución hacia la búsqueda de un estado de equilibrio conciliatorio de los diversos factores de la erosión, la sedimentación y el ambiente geológico".

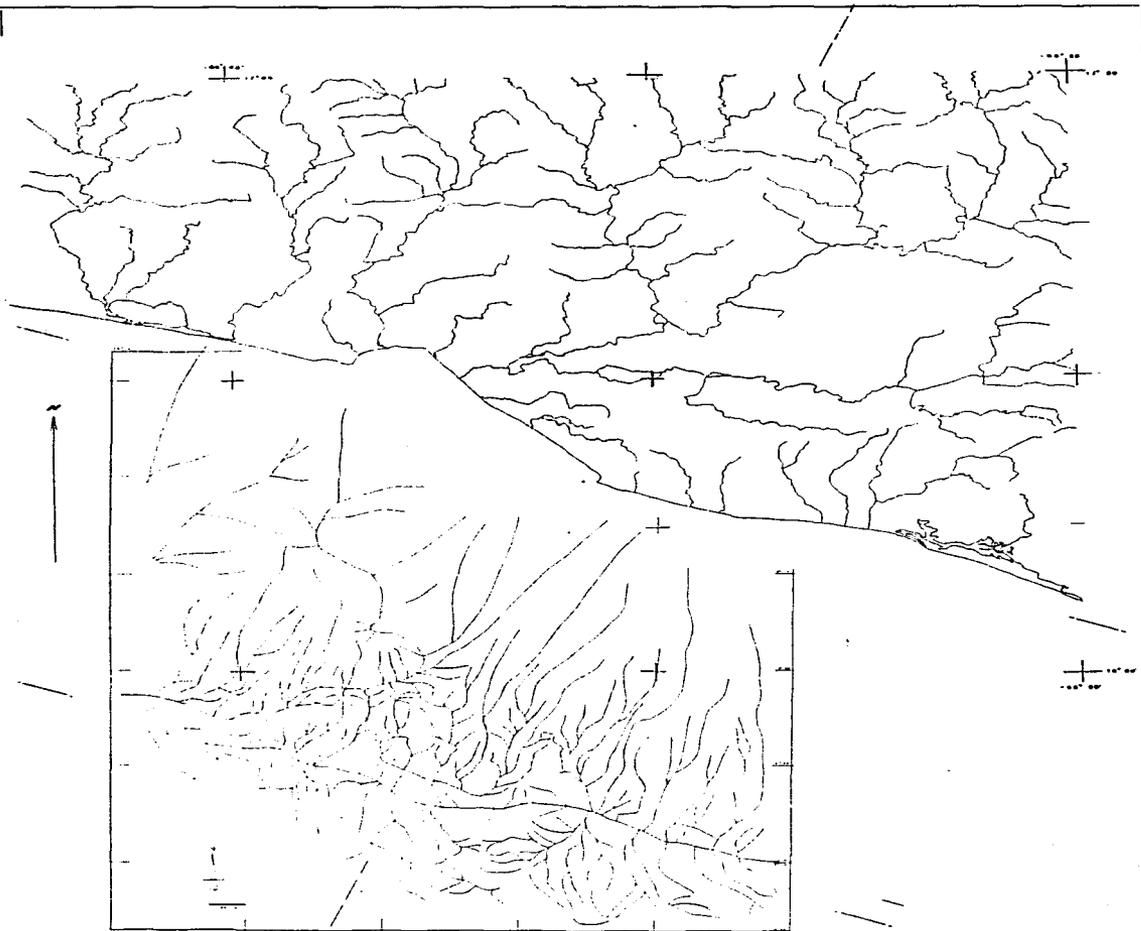


Figura N° 25. Ensamblaje de los Sistemas de Valles Submarino y Subaéreo sobre la Transición Oceano-Continente en el Sur de Guerrero y Oaxaca, México.

Como ya se mencionó, el segundo elemento fundamental del Análisis Morfoestructural de la fisonomía de disección de un terreno, es el de la Red de Valles o de disección topográfica y sus vertientes, interfluvios o divisorias gobernando la distribución.

En este tipo de análisis de configuraciones, el parámetro de la jerarquización del sistema de trazos, después de la rugosidad y las pendientes del relieve, parece ser el más importante directamente relacionado con la topografía, la litología del subsuelo y las estructuras geológicas.

VIII.2.1. Estudio de anomalías de la red de valles o entalles

En un área determinada el marco básico que presenta la topografía, en la cual se involucran las redes de drenaje, se observa que es muy normal encontrar que ciertas direcciones bien marcadas en ellas, son coincidentes con las líneas de máxima pendiente del relieve y sin embargo, se puede demostrar que la causa de su variación en los sistemas, es determinada por la distribución de obstáculos naturales como son: fallas, dicaclas, juntas, discordancias, contactos, bancos duros y elementos de estructuras geológicas en general. Así, la red adquiere por lo tanto, su grado de simetría, define su carácter y denota sus anomalías. Figura No. 33.

En este sentido, se tienen: el trabajo sobre las redes de corrientes subaéreas de Horton (1945), seguido por los de Strahler (1952) y Schumm (1956) quienes se han ampliado en va-

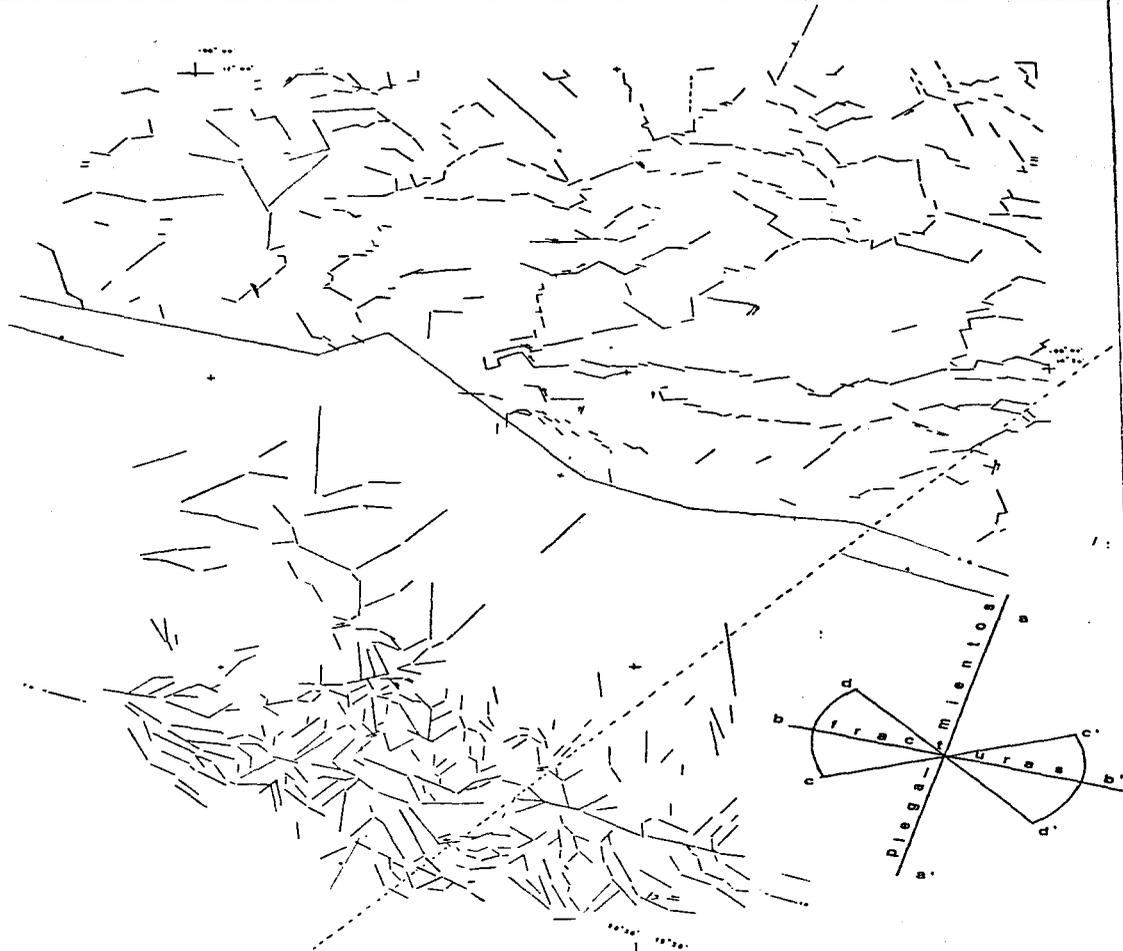


Figura Nº 33 Distribución de Caracteres Anómalos de la Red de Valles debidos a obstáculos.

rias técnicas. En particular éstas y otros métodos han sido desarrollados y aplicados mediante su extensión al dominio marino con las investigaciones de Naudin (1971) y Prud'Homme (1972) entre otros.

VIII.2.2. Sistema jerárquico en las redes de disecciones

Los caracteres gráficos y geométricos en arborescencias de las redes de drenaje constituyen una evidencia geológica de los atributos estructurales y litológicos del subsuelo. Estos aspectos han incitado a los especialistas a establecer relaciones de orden jerárquico entre los diferentes segmentos que componen un sistema fluvial. Se trata de una clasificación en función del grado relativo de importancia (i.e. orden) de cada tramo.

La idea básica es la de afectar a cada segmento, porción de una línea de corriente limitada por dos confluencias, de un número de orden correspondiente a su posición dentro del sistema de drenaje y por tanto, a su importancia relativa respecto a los otros. Existen varias clasificaciones que han sido propuestas por varios especialistas, entre las principales se pueden citar: la de Horton mismo (1945), y las de Strahler (1952), Shreve (1967) y Scheidogger (1967) Figura 24. Aunque semejantes unas a otras, las dos primeras clasificaciones son las más utilizadas en el análisis morfoestructural; ambas están apoyadas en el principio que puede enunciarse así "La confluencia de dos corrientes de orden idéntico da origen a una corriente de orden superior, pudiendo recibir los afluentes de cualquier

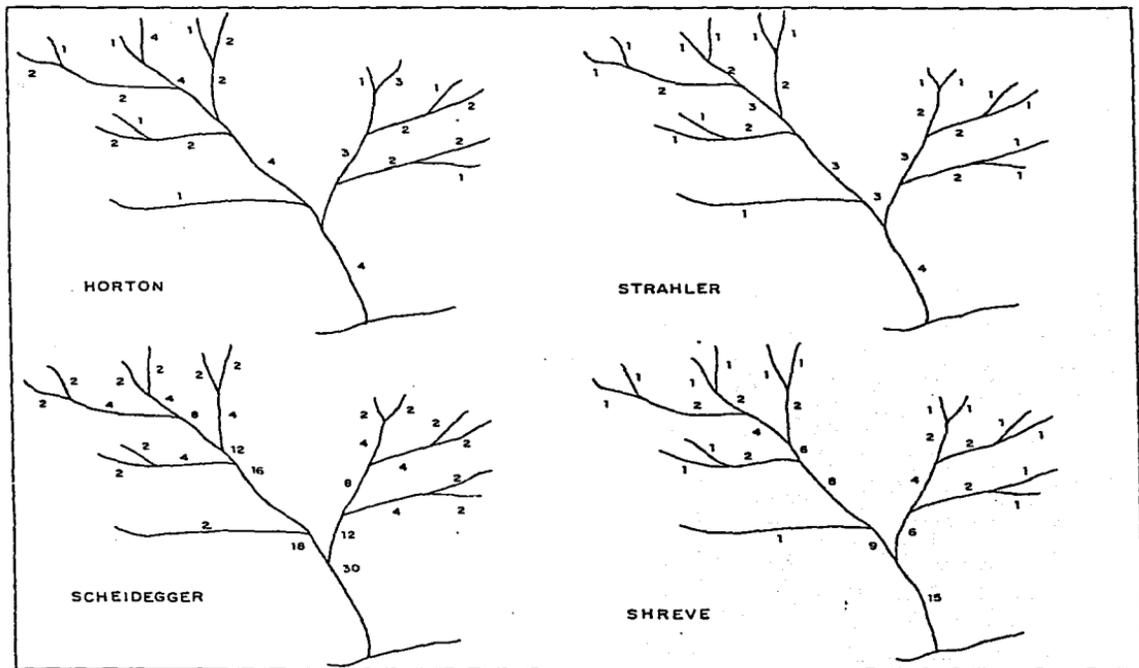


Figura Nº 24. Sistemas de Orden Jerárquico de: Horton, Strahler, Scheidegger y Shreve. Según Griboulard (1980).

orden inferior en el suyo propio sin alterar su denominación". Estos autores se basan en un sistema jerárquico y han propuesto para el dominio subaéreo algunas leyes fundamentales o reglas generales. Estas leyes o reglas, evocan las relaciones del tipo de una progresión geométrica inversa entre: números de tramos y orden, longitud y orden, densidad del drenaje y orden. Sus restricciones son aplicables tanto a los dominios continentales como a los marinos y sus redes siguen, en uno y otro dominio, un crecimiento alométrico inverso (o fraccional, fractal) independientes pero asociados de alguna manera. En la Figura No. 14 se muestra que cualquiera que sea el dominio y sin prejuzgar del fluido en el drenaje, las relaciones mencionadas suelen verificarse. Y en la Figura No. 26, se observa la consignación de los valores de órdenes de acuerdo con la clasificación de Horton (op. cit.), en el ensamblado de sigu temas de drenaje mar y tierra.

Cuando arriba de una confluencia se tiene una ambigüedad o duda, para la clasificación del afluente, se toma en cuenta su longitud o su dirección que debe ser, respectivamente, la mayor o ser paralela, a la del tramo de rango superior.

VIII.2.3. Geomorfometría de longitudes de valles

Este método permite analizar una aplicación importante de la jerarquía mediante la comparación de la red de drenaje misma, con la distribución en el espacio de los tramos de un orden dado en el sistema.

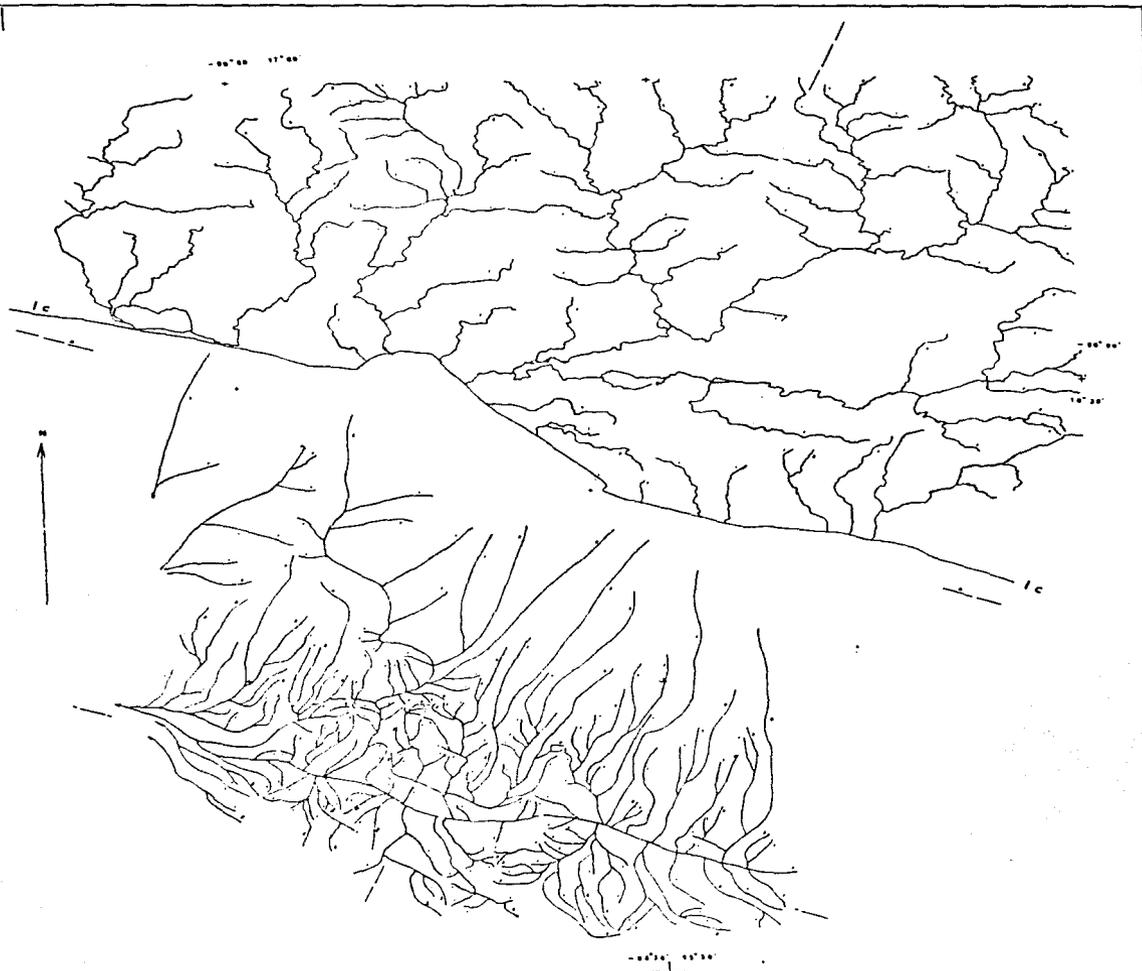


Figura Nº 26 Distribución de Ordenes de los tramos de los entalles Subaéreo y Submarino de acuerdo con el Sistema Jerárquico de Horton.

El aspecto interesante estriba en el hecho de que, buenas correlaciones pueden existir entre las grandes longitudes y las estructuras sinclinales profundas y correspondientemente, entre las pequeñas longitudes y las estructuras anticlinales. Es debido a Gvin y Filosov (1965) quienes aplicaron esta metodología y probaron su capacidad en regiones donde las estructuras del subsuelo ya eran conocidas mediante métodos clásicos de Geología y Geofísica. Otras aplicaciones exitosas las han realizado Prud'Homme (1972) en el Golfo de Gasconia y en la Cuenca de Aquitania; Naudin (1971), quien ha estudiado, en el dominio marino, la Plataforma Continental de Aquitania; Griboulard (1983) quien puso en evidencia la prolongación en el dominio marino las estructuras Hercinianas de la Meseta Marroquí; Fontas (1984, op cit) quien ha tenido acceso a las estructuras ocultas soterradas con la Placa Atlántica subductiva bajo el prisma acrecionario tectónico de las Antillas Menores de la Margen Oriental del Caribe, etc.

Para su aplicación las mediciones se pueden efectuar sobre el conjunto de órdenes de valles, cada valor encontrado deberá ser asociado al centro de los tramos considerados, permitiendo así la elaboración de cartas de curvas de isovalores de longitud de valles en un orden particular y sobre lo cual, se podrán observar los ejes de altos o bajos valores que se correlacionan con las estructuras sincliformes y anticliformes respectivamente. Esta asociación es ilustrada en las configuraciones de las Figuras Nos. 27 y 28.



Figura Nº 27 Configuración de Curvas de Isovalores de Longitud de Valles o Tramos de un orden particular; en este caso, para morfometría, en orden uno.

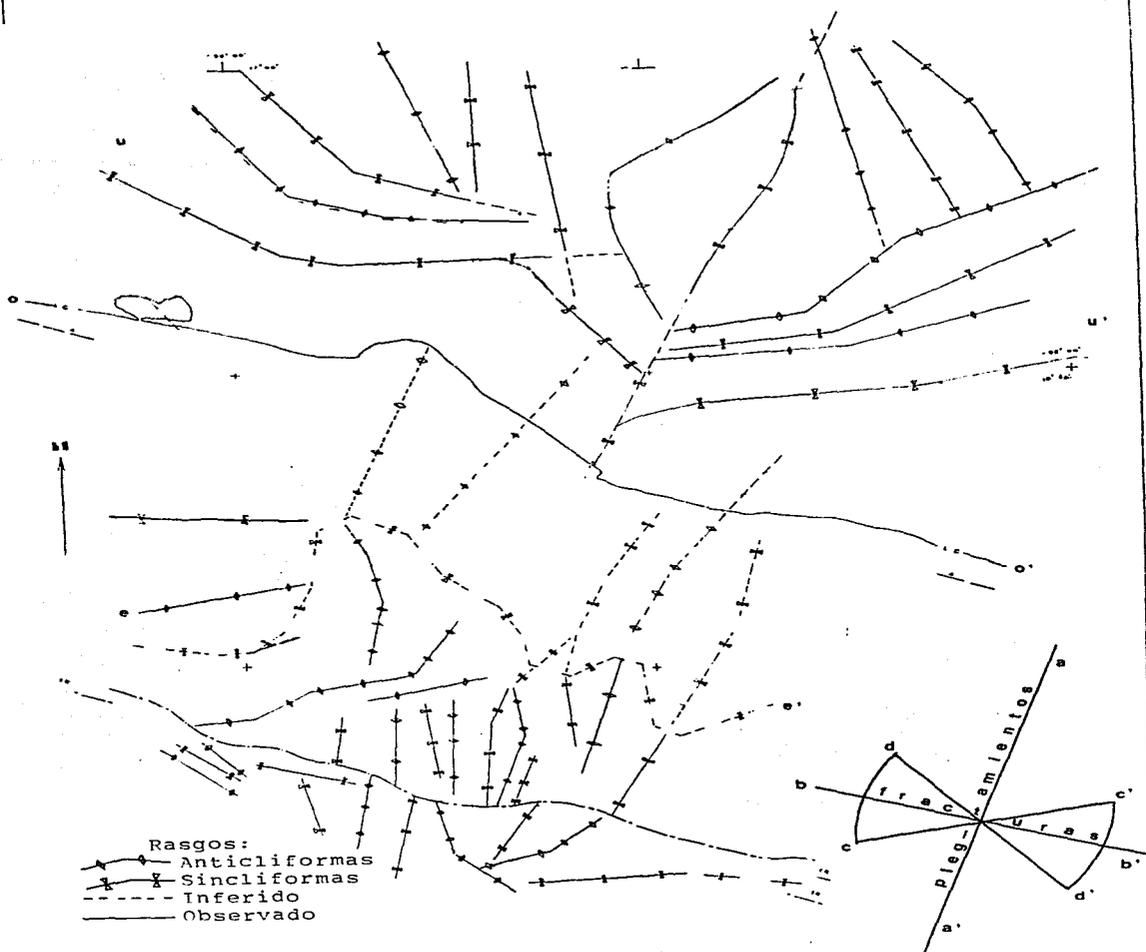


Figura Nº 28 Trazo de los Ejes de altos (+) y bajos (-) valores asociados con estructuras sincliformes y anticliformes respectivamente.

No obstante, si el estudio de la distribución de longitudes de valles de primer orden informa con mayor énfasis sobre las direcciones en la subsuperficie, su número generalmente es construido muy alto y su trazo, que depende en gran medida de la precisión del documento utilizado, lo hace un elemento de análisis poco cómodo. En cuanto a los elementos de órdenes elevados, si es que señalan las grandes orientaciones de las estructuras profundas con los alineamientos de valores pequeños y grandes, la densidad de puntos estará disminuyendo de tal manera que los resultados se convierten más y más difícilmente interpretables. En consecuencia, la selección del orden a tomar en consideración se lleva a cabo la mayoría de las veces sobre el segundo y el tercer órdenes. Figura No. 26.

Esta metodología nos permite, por lo tanto, tener un primer registro de la organización estructural local y que, para confirmar su validez deberá ser cotejada con los resultados de otros análisis. Figura No. 29.

VIII.2.4. Magnitudes de redes de disecciones

Este método ha sido propuesto por Shreve (1967) y ha tenido un desarrollo y aplicaciones muy relevantes puesto que dá resultados que han sido satisfactorios. El método toma en consideración el número de cabeceras o fuentes y todas las confluencias de cada uno de los elementos de una red que convergen en un tramo en particular. Con esta idea se define lo

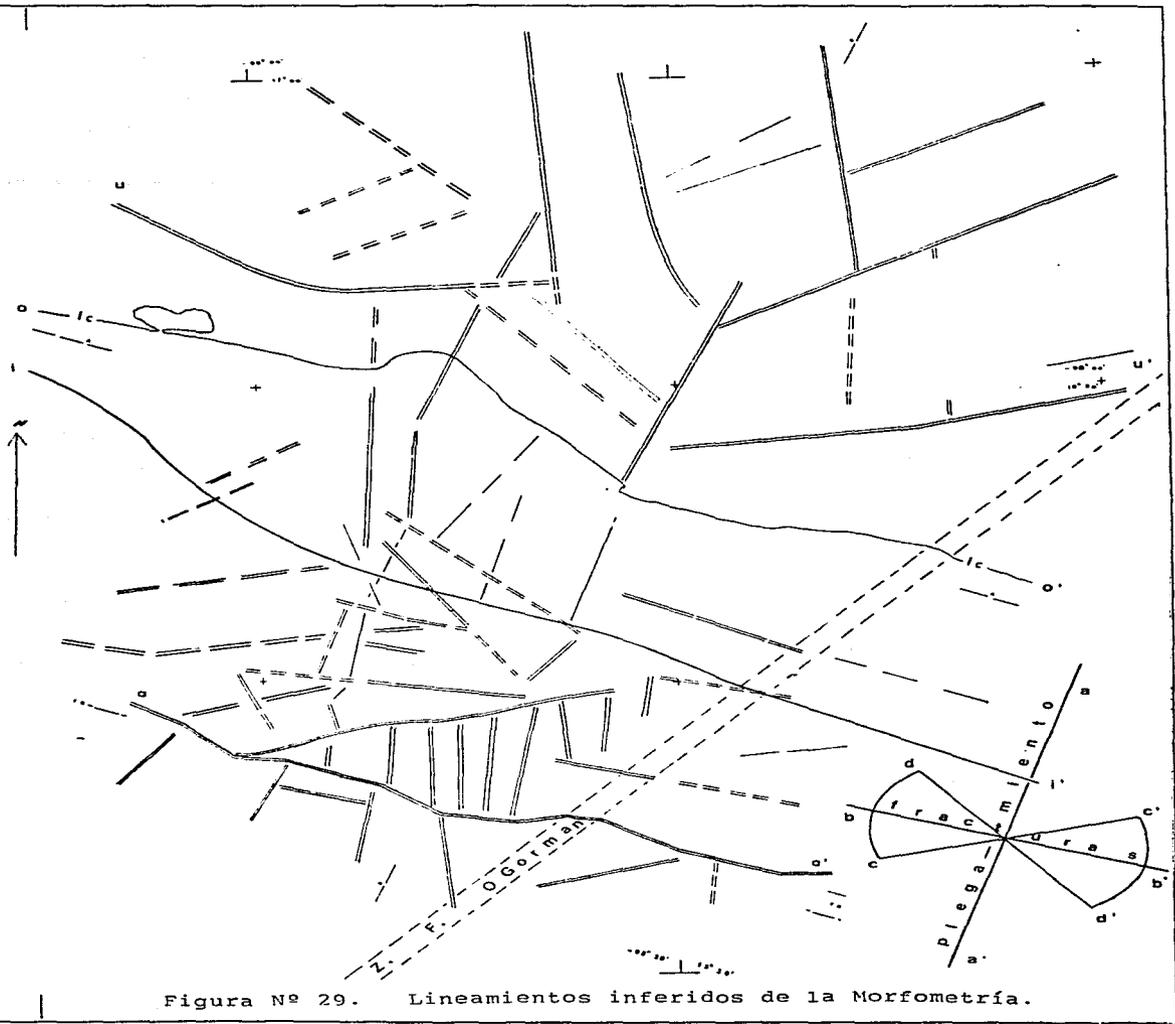


Figura N° 29. Lineamientos inferidos de la Morfometría.

que se denomina la "magnitud" para establecer el número y distribución de confluencias y fuentes de la red de drenaje. El procedimiento para una cuenca, consiste en la determinación de un origen o nivel de base, en el punto más bajo del sistema o cuenca. Mediante el trazo continuo de líneas, se unen las confluencias y fuentes del mismo nivel, y así se obtiene una sucesión de curvas ordenadas desde la base hasta las fuentes más lejanas. Para varias cuencas aledañas, el procedimiento consiste en configurar todas las confluencias de una cuenca a la otra, de tal manera que entre dos curvas no haya más que los tramos de redes sucesivos definidos, Figura No. 30. Es conveniente iniciar el procedimiento de la configuración a partir de la línea que une las desembocaduras, esta primera línea determina el "nivel base". El segundo trazo, río arriba, conjunta una nueva generación de orígenes y de confluencias, a excepción de algún otro elemento del drenaje. Desde el inicio se puede asociar el valor de las magnitudes de esas curvas, se podrá asociar también su significado respecto a la estructura y a la naturaleza del subsuelo, al número de obstáculos al drenaje, bancos duros, fallas, diaclasas o juntas, las cuales con frecuencia están asociadas a su vez, a los afluentes y a las fuentes de la red. Aquí se puede intentar una interpretación litológica, es decir, en una región donde las curvas de magnitud son poco numerosas y muy espaciadas, indica una zona litológicamente homogénea, poco perturbada por los fenómenos tectónicos. Por el contrario, una densidad alta

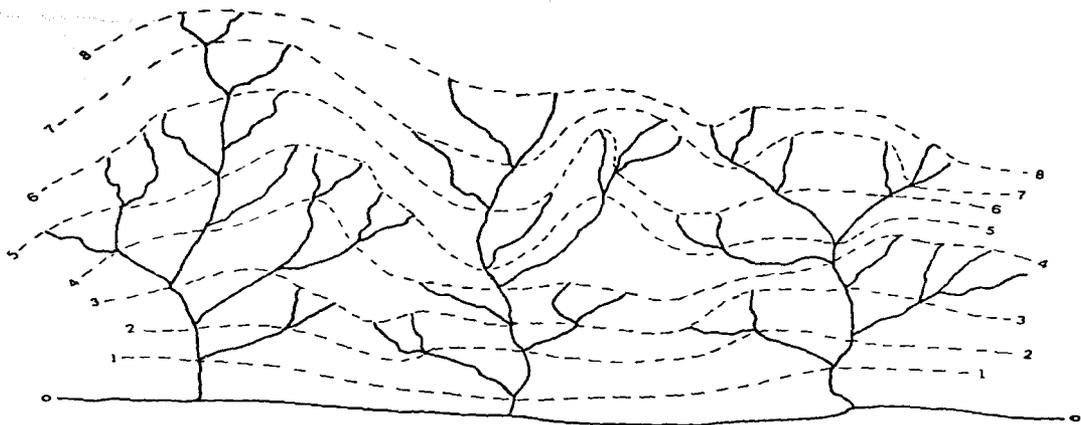


Figura Nº 30. Principio de construcción de Curvas de Igual Magnitud.

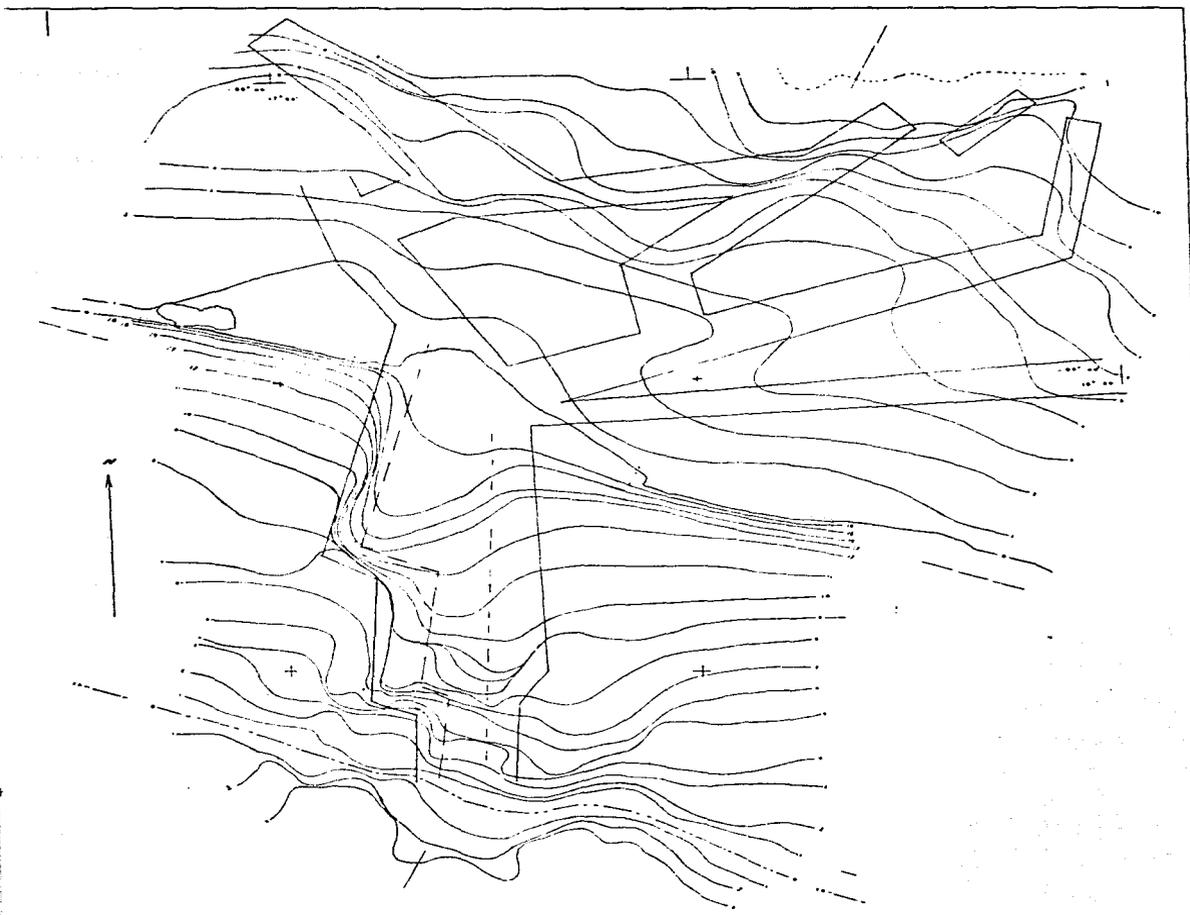


Figura Nº 31 Configuración de las Magnitudes en los Sistemas de Enta -
lles subaéreo-submarino.

de curvas sobre un área restringida infiere una región perturbada o que tiene un arreglo estratigráfico muy complejo.

En algunas aplicaciones efectuadas sobre el continente se ha observado que es posible desarrollar el análisis, sin detrimento del resultado final, con el hecho de no tomar en cuenta el papel que juegan los afluentes de primer orden. Sin embargo, en el dominio submarino, debido a la definición cartográfica del documento, se ha constatado que los elementos de primer orden (inferior) de sus redes, son correspondientes a los drenajes continentales de segundo orden, e incluso a los de tercer orden. En tal caso se preferirá efectuar el análisis sobre la totalidad de la red de valles submarinos a fin de llegar a resultados comparables (Naudin, 1971, op cit).

VIII.2.5. Caracteres gráficos de las redes de disección

En conjunto, los caracteres gráficos de las redes de entalles vienen a conformar un gran volumen de datos definitivamente con algunos significados relevantes, puesto que la distribución de estos caracteres está íntimamente relacionada el marco geológico. Asimismo, para complementar los análisis anteriores en la revisión integral de métodos, es recomendable analizar las configuraciones que adquieren las redes de disecciones.

Con el desarrollo de la Fotogrametría Aérea, Merle Parvis (1950) en Guerra Peña (1989) aclaró, perfiló y fijó el concep

to de "Configuración del Drenaje o de los Valles". Asimismo, para la literatura en español, éste último autor después de la clasificación sistemática de los tipos o configuraciones del drenaje, de varios especialistas ahí citados, recapituló con algunos ejemplos muy ilustrativos hasta treinta y tres configuraciones diferentes de drenajes naturales y artificiales; tales que, Lugo Hubp (1989) resume y describe brevemente la mayoría de ellos como configuraciones de las redes fluviales en su Diccionario Geomorfológico y corresponden ampliamente a los arreglos de Howard (1967), los cuales se ilustran en las Figuras Nos. 32(a) y (b).

De acuerdo con la Escuela Francesa de Geomorfología A.D. Howard, es considerado como uno de los estudiosos que presintió el valioso contenido en la distribución de tipos de organización de redes y estableció una clasificación sintética en la que las relaciones red-marco geológico son puestas en evidencia. De acuerdo con este autor y con su clasificación de tipos de drenaje, se reagrupa un cierto número de anomalías en el trazo natural sobre la roca permitiendo tener un acceso a los caracteres estructurales generalmente no revelables por otros métodos. Tales caracteres pueden ser entre otros: la linealidad bastante marcada, la aparición brusca de meandros, umbrales y ciénagas irregulares en los valles; así como, ocasionales arreglos distintivos de estructuras particulares, por ejemplo, aquellos definitivamente geométricos. Figura No. 35, (pag. 107).

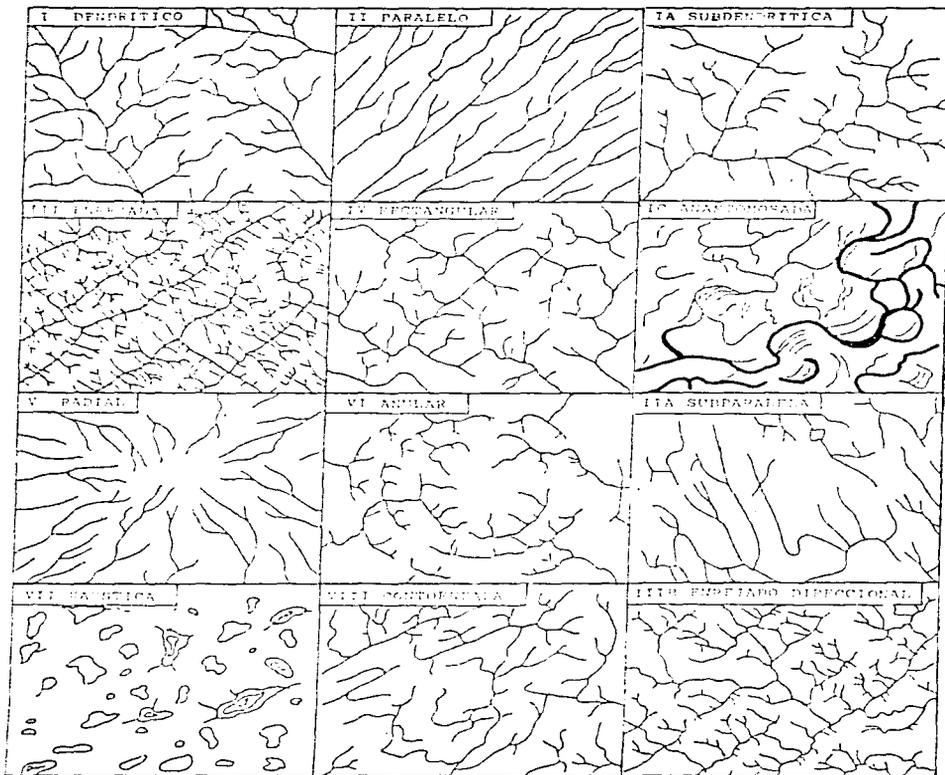


Figura Nº 32. (a) Tipos Fundamentales de Drenaje
Según Howard (1967).

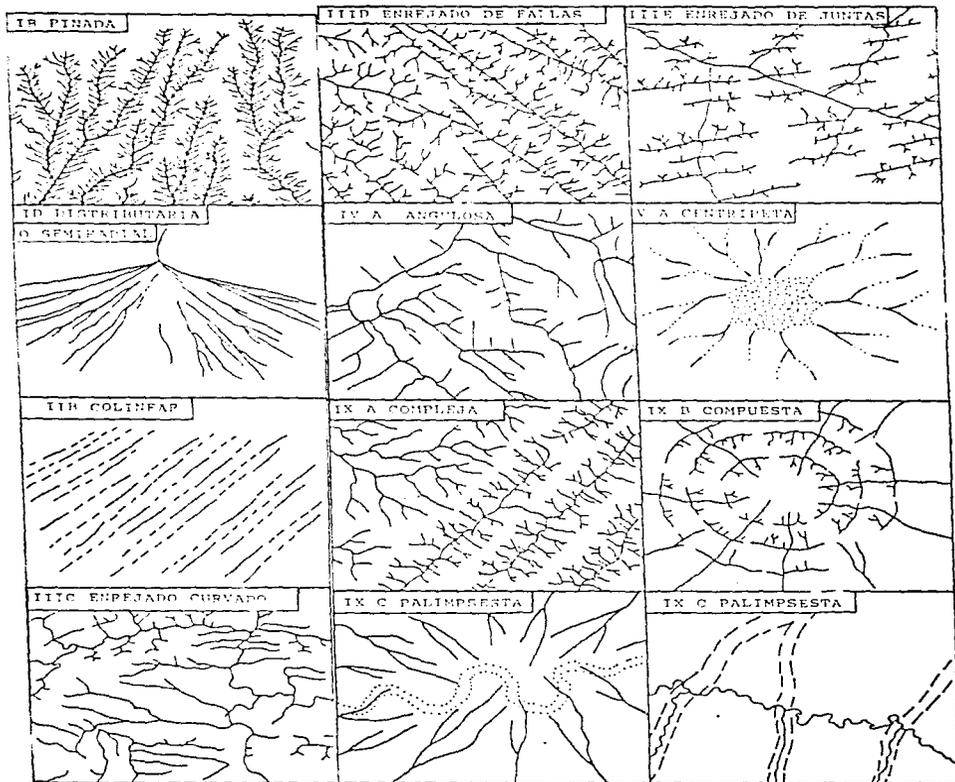
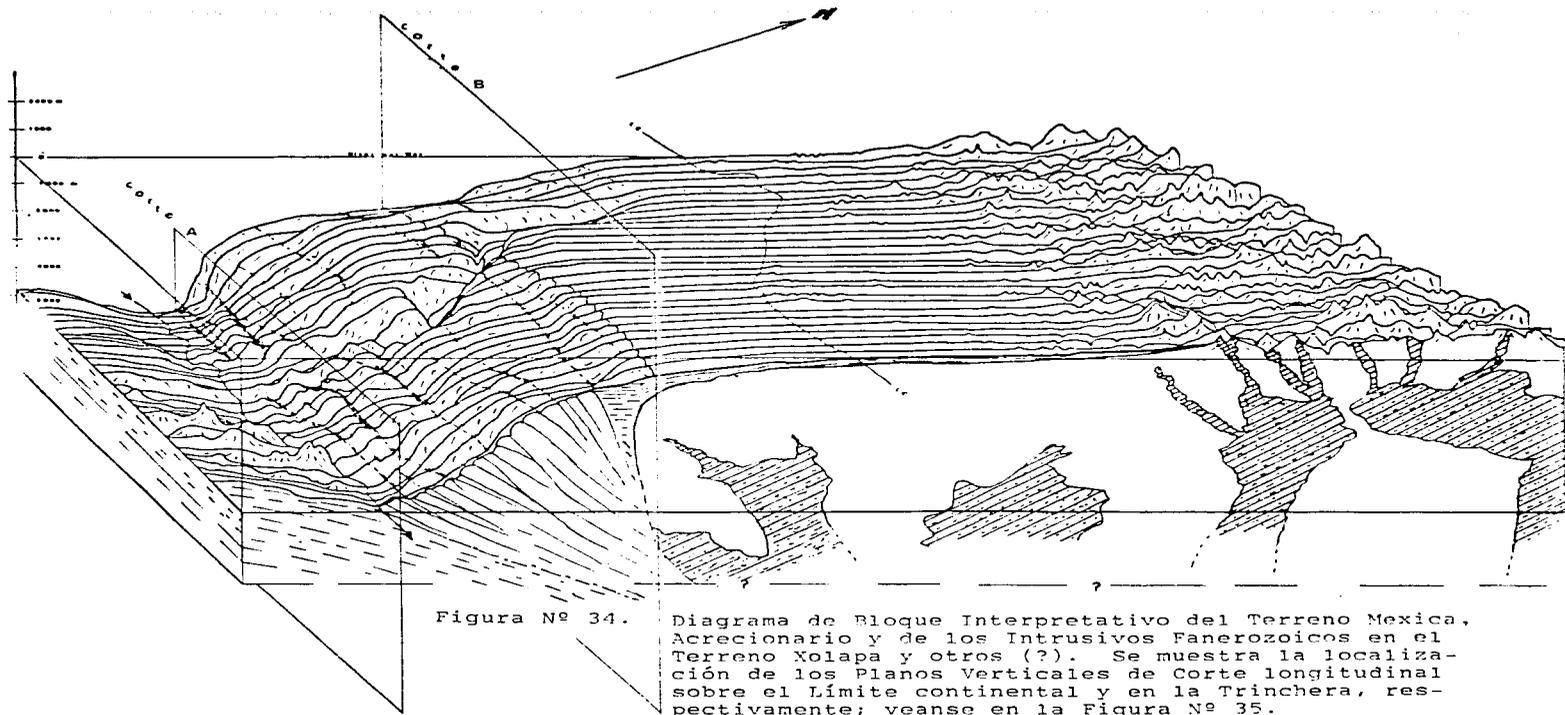


Figura Nº 32. (b) Tipos Fundamentales de Drenaje
Según Howard (1967).

IX. DISCUSION DE INFORMACION, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Zona Transicional Océano a Continente y el talud continental inferior particularmente, contienen un Prisma Acrecionario activo hoy día, del Neógeno que forma parte del Sistema de Antearco Continental en la Margen Cortical del Sur de México. El Prisma yace sobre la porción que inicia la subducción de la Placa de Cocos, la que aquí se ha denominado "Terreno Océánico del Coco". La contraparte en el continente que somete a este terreno, es el Terreno Xolapa y algún otro (?) y opone un abrupto borde continental para dar origen y forma, Figuras Nos. 34 y 36, al receptáculo del nuevo "Terreno Mexica Submarino". Parece incuestionable la existencia, ya no sólo de la subducción, sino de la evolución del acrecentamiento del continente con nuevos Terrenos adicionales. Ejemplos relativamente cercanos, son las penínsulas de Nicoya y Osa en Costa Rica y los Terrenos del oeste de Alta California, los cuales han acrecentado a los continentes.

El Terreno Mexica Submarino aquí propuesto, cumple con los lineamientos geológicos de la definición (pág. 68) así como, con ciertas características geofísicas y morfológicas que lo independizan como un cuerpo unitario: su forma y dimensiones estructurales contrastantes que le dan una arquitectura diferente, su edad reciente e inmadurez aparente; confirman su proceso de acreencia interna según se discutió en el artículo V.3.4. (p.53)



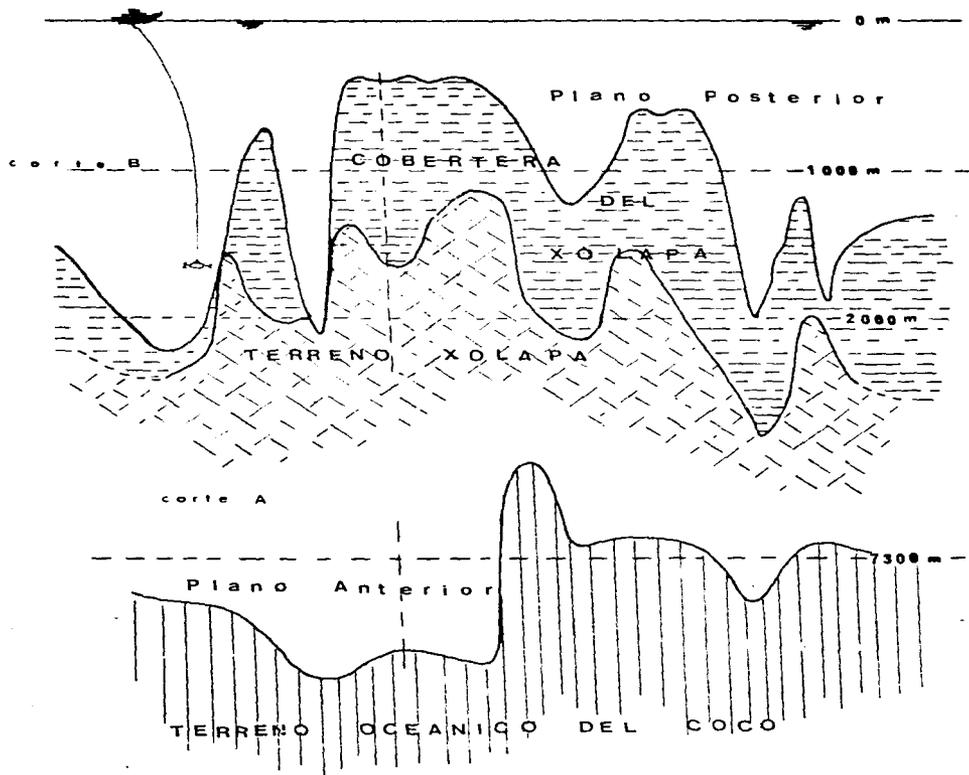


Figura N° 35. Vista Frontal del Continente desde la Planicie Abisal. En el Plano Anterior: perfil del Terreno Oceánico del Coco al inicio de la Subducción. En el Plano Posterior: Perfiles del Fondo Marino y la cima del Terreno Xolapa y otros (?), en el límite Continental. Estos tres perfiles determinan el receptáculo para el Terreno Mexica Acrecionario. Después de Shipley (1981) y este trabajo.

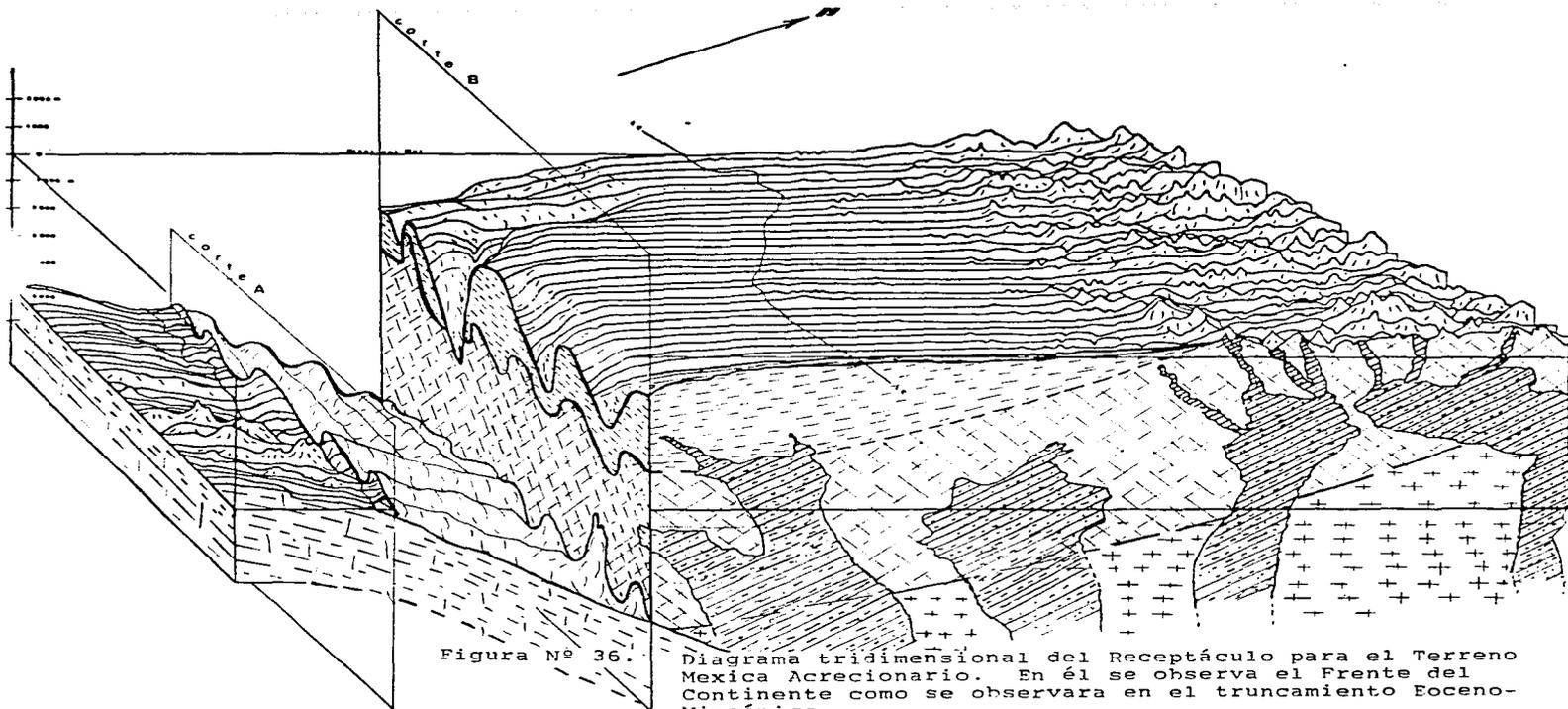


Figura N° 36.

Diagrama tridimensional del Receptáculo para el Terreno Mexica Acrecionario. En él se observa el Frente del Continente como se observara en el truncamiento Eoceno-Miocénico.

con un comportamiento sui generis, de sus dos clases de anomalías gravimétricas negativas que son típicas y permanentes de las márgenes Pacíficas.

A lo largo de este trabajo se han referido muchos resultados y datos sobre aspectos geológicos de múltiples autores citados cuyas ideas convergen de alguna manera con las hipótesis del modelado en este trabajo, aunque no necesariamente han sido integrados en su totalidad, en cada caso, en las conclusiones o interpretaciones; sí han servido para inducir otros argumentos.

Para el área bajo estudio muchas de las propiedades y dimensiones de las provincias o terrenos tectonoestratigráficos conocidos, así como éstos mismos, han sido identificados. De ello se observa que efectivamente acusan el modelado, en el espacio y el tiempo, de la Zona transicional del Continente al Océano de tal manera que, la integración polidisciplinaria de resultados aquí realizada concreta una buena interpretación en las siguientes condiciones:

No obstante que tanto la penetración como la resolución a profundidades mayores de los Métodos Geofísicos, por razones naturales e inherentes a este tipo de Márgenes Continentales Activas, no son lo suficiente responsivas con las técnicas actuales. Sin embargo, aquellos sí logran enmarcar parte de las

fronteras superiores e inferiores del cuerpo acrecionario, así como otros rasgos planares de contrastes físicos.

Los documentos de análisis morfológicos tanto de Relieves como de Sistemas de Valles o Entalles, parten del grado de representatividad topológica de la realidad en el subsuelo.

La índole de los datos, su precisión y exactitud, así como su ubicación en los espacios terrestres y marinos, siendo no obstante, de fuentes y escalas diferentes por razones de las técnicas aplicadas y sus correcciones; no dejan de ser representativos de una realidad en el subsuelo, aún en las correlaciones y magnitudes de estas.

IX.1. DEL MODELADO EN LA ZONA TRANSICIONAL CONTINENTE-OCEANO

Las presentes conclusiones se refieren a la interpretación de la deformación activa en el talud del Terreno Mexicano acrecionario ubicado en el receptáculo como ya se ha descrito: lo conforman el Terreno Oceánico del Coco, el límite suriano del Terreno Xolapa y su substrato aparentemente de edades muy diferentes; asimismo, de los fracturamientos.

Este estudio partió de un análisis Geofísico que culminó algunos esfuerzos anteriores (Shipley et al., 1980; Sandoval, 1985; 1991, en Prensa) cuyos resultados en lo general se han integrado a un nuevo tipo de Análisis Integral de Cartografía en deta

lle que se apoya a su vez en la selección y tratamientos, tan to manual como numérico, de los parámetros Geomorfológicos más significativos y que cuantitativamente, han sido capaces de acusar el control global de la fisonomía de la región estu diada.

En estos términos, los resultados de la integración polidisci plinaria, se dan en una interpretación global consistente en la identificación de las geoestructuras componentes de la Zo na Transicional del Continente al Océano, en la región lími trofe de los Estados de Guerrero y Oaxaca y bajo su porción submarina.

La Zona Transicional está constituida por los aparentes cuer pos longitudinales que se describen en orden y sentido trans versal, hacia el Pacífico: la porción del Terreno Xolapa que aflora en la Sierra Madre del Sur y sus estribaciones de la vertiente sur. El segmento analizado, está enclavado en la parte septentrional de la región documentada. Ahí se ha interpretado la presencia de dos bloques corticales cuyas ex tensiones superan al espesor de corteza, siendo este último del orden de los 25 km. Los bloques se encuentran discolados por una zona amplia de fracturamiento o zona debilidad corti cal que se encuentra en la parte central norte del área estu diada y se extiende hacia el sur más allá del borde continen tal y los taludes submarinos. En esa misma zona el cauce en el bajío de los valles recoge el desague de los afluentes del

Río Ometepec - Santa Catarina , su prolongación en la Planicie Costera lo lleva a la desembocadura en la Bahía Dulce para continuar sobre la Plataforma Continental contigua, hasta encontrar la cabecera del Cañón submarino de Ometepec. Esta continuidad en el cauce aparentemente sobre la Plataforma no es muy manifiesta en los planos batimétricos por la escasez de datos de profundidad al detalle en la zona litoral. El cañón sigue a la línea del Thalweg de un valle muy amplio y somero generado por efectos tectónicos, como se verá adelante. Esta gran estructura relativamente baja tiene una orientación hacia el SSE y su origen se discutirá, así como el de otros rasgos, a partir de los resultados geomorfométricos, a continuación:

IX.2. DEL ANALISIS DE RESIDUALES (Figuras Nos. 18 y 20)

Como fué establecido antes, en la sección de metodologías aplicadas, con la sustracción de la Superficie Regional Teórica de 1er. Orden a partir de la Superficie Real, se obtuvo la Superficie Residual de 1er. Orden; en ella se centra la atención en el corte profundo de dimensión cortical del Cañón Submarino de Ometepec. El corte aparentemente disecta a la corteza puesto que la pared interna oriental del Cañón exhibe a las rocas Metamórficas Paleozóicas (?). Esta ventana morfológica bajo la isóbata de los -1400 m (Figura No. 35) sugiere la presencia y extensión de una amplia cornisa estructural (i.e. extremo más sureño del hinterland continental) probablemente perteneciente al Terreno Xolapa y a otros (?). La cual es un substra

to de una cobertera sedimentaria que dá cuerpo y forma a la Planicie Costera del Pacífico y su contigua Plataforma Continental. Este cuerpo identificado así constituye una parte del Terreno Xolapa y otros (?).

Al efectuar la misma operación morfométrica anterior a partir de sendas superficies de 2° Orden, se tiene un panorama similar al de 1er. Orden con la adición de abundantes detalles. Estos últimos complementan o confirman algunos rasgos de la Residual de 1er. orden. Aquí la ocurrencia y distribución de detalles define a los distintos dominios que identifican a las unidades tectonoestratigráficas diferentes. (Figura No. 20).

En ambas Superficies Residuales de 1° y 2° órdenes sobre la porción terrestre (subárea) se denotan las zonas relativas del grado (porcentaje relativo) de desgaste y depósito de roca. Los relieves que aún persisten positivamente indican las cimas del Terreno Xolapa y de los intrusivos del Fanerozoico. Los sedimentos de la planicie costera y gran parte de la Plataforma Continental constituyen la cobertera sobre el Terreno Xolapa y otros (?). Esta, según se interpreta parece haber sido cortada en dos ocasiones por la dinámica submarina, en un paleocañón hoy abandonado y el otro, actualmente activo. Este paleocañón de Ometepec después de haber labrado gran parte de la Plataforma Continental en algún momento en el Reciente, cambió su curso con rumbo al SW hasta su posición actual con rumbo al sur franco. Se infiere que este traslado del cañón ha sido producido por un

cambio en el nivel del mar, como podría ser un ascenso en este nivel hace unos cien mil años, época del término de la última glaciación. Una documentación al respecto es muy necesaria.

El mayor cambio en el rumbo del Cañón según desciende en el Talud Superior, lo hace hacia el SE, a lo largo del límite continental (Lineamiento : ii) lo delinea sobre unos 10 km y lo abandona para continuar hacia el sur franco; hasta la zona de Talud Inferior donde el curso del Cañón, experimenta otro cambio al SW para curvar hacia el oriente en rumbo subparalelo al primero, pero ahora siguiendo un curso de drenaje subsecuente debido a los cordones y trazas del apilamiento de las cuñas del prisma acrecionario del Terreno Mexica. Cae de nuevo, ahora hacia el sureste, describiendo una amplia trayectoria curva que lo lleva a un rumbo suroeste, cambia una vez más al sur franco y finalmente al SW para recuperar su caída regional original e incidir en la Trinchera. El Thalweg (y asimismo el Cañón) desde su cabecera en el engolfamiento en tierra describe una trayectoria sigmoidal en su descenso, lo cual prueba un control estrictamente tectónico sobre el Sistema de los valles subaéreo y submarino.

La ventana que aparenta aflorar a los metamórficos se debe a la erosión del cañón en su labio oriental, quizás está azolvada por un espesor delgado de sedimentos. Así, las recuperaciones de la draga de 1500 kg de arrastre u otra, son promisorias. (Figuras No. 16, 18 y 35).

Si se desea un muestreo de bancos duros (de sedimentos relictos) se recomienda efectuarlo entre las isobatas de 300-500 m principalmente sobre el bloque oriental del Cañón de Ometepec. O a los 2000 mbnm sobre el bloque occidental. Es decir cerca de los bordes de la Plataforma. Estas unidades así identificadas tienen posibilidades de atractivos potenciales si se piensa en los depósitos fosfatados reportados previamente por percepción remota.

Llama la atención también que ambas regiones que enmarcan al Cañón así como a sus márgenes, a manera de bloques corticales constituyen el núcleo de la Plataforma Continental y la Planicie Costera, éste queda constituido por el paquete sedimentario que descansa sobre la mencionada cornisa estructural del Terreno Xolapa además de éste mismo, junto con otros (?) para definir el Zócalo continental. Siendo así, se tiene una sola unidad cortical hendida por un sistema de fracturas que imponen el curso sigmoidal del Thalweg del Sistema Ometepec. De esta manera la Plataforma Continental aparenta contener un núcleo cortical que extiende al continente por debajo del dominio marino según sugiere el Análisis de Residuales (Figuras Nos. 18 y 20) en la porción marina a una distancia de la costa a la curva isobatiométrica de los -2000 m y entre 10 y 15 km más allá del truncamiento continental ya referido en el artículo V.2 (p. 45).

En una vista regional el curso sigmoidal del Sistema de Ometepec, anómalo por su naturaleza de origen tectónico, indica un

control estructural de toda la región determinado por la geodinámica en los bordes de placas. La concurrencia del Terreno Oceánico del Coco en continua aloctonía, la deriva en oposición del conjunto de Terrenos continentales, en fin, el fenómeno de transferencia de energía y de masas durante la subducción en un espacio "esférico" también en movimiento; necesariamente tiene que producir un estado de esfuerzos en la litósfera no balanceado y en constante búsqueda de un equilibrio dinámico.

En particular, en el dominio dinámico del área estudiada, la dirección de las fuerzas deformantes difícilmente se encontrarán en arreglos naturales ortogonales y paralelos. Sino que será sencillo identificar los sistemas naturales de fuerzas convergentes, divergentes y quizás paralelas como sería un sistema de par de fuerzas, por ejemplo, en un Sistema de Fallas de Torque que somete a una región cortical a efectos de plegamiento, ruptura, corrimiento y rotación. El caso de este ejemplo será revisado en comparación con el área tratada, con un sistema de fallas subparalelas.

IX.3. DEL ANALISIS DE MAGNITUDES DE VALLES

Los resultados consignados que se observan en el Plano de Configuración de Magnitudes (Figura No. 31), se han integrado al plano resultante de la Morfometría (Figura No. 29). En él se han vertido los rasgos más conspicuos aportados por las inferencias de discontinuidades o fallas, tales que a su vez,

están acusadas por el acercamiento de las curvas de isovalores de Magnitudes, las cuales están señaladas dentro de los recuadros. En ésta "Configuración de Magnitudes" el rasgo más característico en esta expresión morfométrica lo ofrece la con junción de líneas sobre la margen occidental del Cañón de Ometepe copiosamente en su parte alta al SW de la Bahía Dulce. Según descende el cauce del Cañón, en la configuración se presentan cambios abruptos en la dirección de la tendencia por tres ocasiones hacia el oriente. La margen oriental del Cañón aunque muestra una conjunción de líneas menos profusa, en complemento a lo anterior, bosquejan un zigzageo en el arreglo de curvas, lo cual da un formato encajonado a un sistema de rasgos de deformaciones y fracturas en el seno de una franja que se ahonda someramente. Se define así una zona estructural relativamente baja sin llegar a constituir un graben, la cual descende desde el engolfamiento en el continente al NE de la Bahía Dulce, continua en esta Bahía, de ahí su forma, y sigue hasta la Trinchera Mesoamericana. La parte alta en el continente recibe los desagües del Río Ometepe - Santa Catarina y otros menores aledaños. En esta parte se ha interpretado con las Curvas de Magnitud (Figura No. 31), como se puede observar, el relativo pero muy significativo acercamiento de líneas en su tendencia. En estas porciones encuadradas se infieren sin discriminar las fallas, juntas o zonas de discontinuidad lito lógica cuyos lineamientos controlan la canalización de los drenajes a partir de las cabezeras ubicadas en las áreas de

intrusivos. El drenaje subáereo se desagua hacia las áreas de bajíos, valles y cañadas de la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur y la Planicie Costera para conectar así también a la Bahía Dulce y seguir su curso hasta la zona abisal como se verá adelante. Aunque naturalmente observable en la hidrografía, la Configuración de Magnitudes nos aporta un conocimiento adicional del drenaje, que consiste en definir su vertiente a partir de las cimas devastadas de los intrusivos para drenar hacia la zona de depresión terrestre asociada a la Bahía Dulce, como ya se describió y aparentemente....

El drenaje continúa para canalizar al sistema mayor del Río Ometepc a través del Cañón Submarino que le dá el nombre y conducirlo hasta la Trinchera Mesoamericana y vertir parte de su carga, un poco más allá, en la zona abisal. En este punto terminal se ha observado mediante los Análisis de Superficies Residuales un desarrollo de abanico aluvial submarino sobre el inmediato fondo abisal del Terreno Oceánico del Coco, frente a la desembocadura submarina del Cañón, habiendo rebasado alguna vez a la trinchera misma después de azolvar la fosa local. No obstante, hoy día ese abanico se encuentra abandonado por hundimientos en la fosa debido al efecto tectónico de la subducción, el cual ha sido más rápido que el depósito de los últimos lóbulos distales.

Este fenómeno ha sido posible identificarlo con el auxilio del mencionado Análisis de Residuales como se observa en el

sector más suroccidental de las Figuras Nos. 18 y 20, al occidente de los intrusivos hipabisales de la Zona de Fracturamientos O'Gorman. Por otro lado, estos intrusivos obviamente son muy notorios puesto que sobresalen al piso oceánico, los cuales, sin embargo sugieren una continuidad hacia el NE según la prolongación de la Zona de O'Gorman cuyo efecto es muy manifiesto en los Taludes inferior y superior, por el cambio en la fisonomía del relieve. Asimismo, su prolongación bajo los taludes interrumpe o distorsiona las tendencias longitudinales de las estructuras del prisma acrecionario. Este efecto es observable en casi la totalidad de las configuraciones morfométricas (Figuras Nos. 18, 20, 22, 29 y 31). Bajo la Plataforma Continental no se manifiesta, pero sí, más al NE con expresiones epicentrales sísmicas en las inmediaciones de Pinotepa Nacional, Gro. Todo este comportamiento, explica que la Zona de Fracturamiento O'Gorman, como muchos otros rasgos semejantes en el Terreno Oceánico del Coco, se reactivan en sus discontinuidades desde el inicio de la subducción.

La conjunción configurada en un haz de líneas de Magnitudes a lo largo del litoral solo refleja el efecto de las múltiples cabeceras de afluentes de tramos iniciales del drenaje submarino que reciben los efluvios derivados del oleaje y las corrientes litorales de mareas. La distribución de sus Thalwegs no han sido mapeados, pues de existir éstos, son temporales y "móviles" por el retrabajo sedimentario por corrientes, que

gobierna al depósito en un relieve primario plano u ondulante. Se ha observado en el mismo análisis que estos fenómenos de interacción de varios factores: aporte detrítico continental, los hemipelágicos, el oleaje, las corrientes de mareas y otras... y en consecuencia el retrabajo de los sedimentos determina sobre el resto de la Plataforma Continental un relieve primario subplanar de amplios depósitos bien clasificados, típicos de la hidrodinámica de Plataformas.

IX.4. DE LA DISTRIBUCION DE ORIENTACIONES ANOMALAS DE ENTALLES

En el plano de configuración de tramos de drenajes anómalos (Fig. 33, pag.107), se sugiere la presencia de obstáculos y discontinuidades en las vertientes. En la porción terrestre se observa un lineamiento regional que drena hacia el WSW continuando en este sentido hasta el borde oriental del Cañón submarino de Ometepec. El arreglo de tramos anómalos según descende el drenaje, viene sorteando estructuras positivas, circulares de 5 km de diámetro y anticlinales largos, subparalelos a aquella dirección, y también de unos 5 km de anchura. Este rasgo es también observable en el Plano de la Figura No. 29 en su cuadrante NW. En la porción submarina, el carácter anómalo del Cañón de Ometepec es evidente. Se demuestra que el control estructural es determinante tanto para su descenso como para sus "cambios abruptos" hacia el oriente. Se concluye de ahí, que el Cañón de Ometepec y su prolongación al continente al norte de la Bahía Dulce, sigue a un sistema de

fracturas de alcances corticales (Figuras Nos. 18, 29, 33 y 38). Estos fracturamientos han sido enmascarados de inmediato por la sedimentación quedando una franja relativamente baja, que se percibe en el análisis. El arreglo a saltos o de carácter sigmoidal sí lo acusan los Thalwegs del Cañón y su prolongación en el continente. Este arreglo sigue a un Sistema interno de Fallas de Torque (Figuras Nos. 37 y 38) como se discute adelante. (i.e. Sistema Interno de Fallas de Torsión).

En la parte del Talud inferior y la porción abisal, en el vecindario de la trinchera, la disposición de tramos anómalos de efluvios se muestra más complejo con abundancia de rasgos muy locales. Esto es debido a la intensa deformación del Prisma Acrecionario del Terreno Mexicano Submarino en la generación de nuevas cuñas acrecionarias. Y aún así, se ha podido intentar la determinación de dominios de elementos estructurales, que han servido de apoyo a la interpretación integrada (Figura No. 29).

IX.5. DEL ANALISIS DE RUPTURAS DE PENDIENTES

El estudio de la distribución de Rupturas de Pendientes en el dominio submarino (Figura No. 22) arroja una disposición de tres zonas bien definidas en sus tendencias deformacionales a lo largo del Talud inferior que manifiestan evidentemente el carácter de mayor deformación local, puesto que, ahí se generan

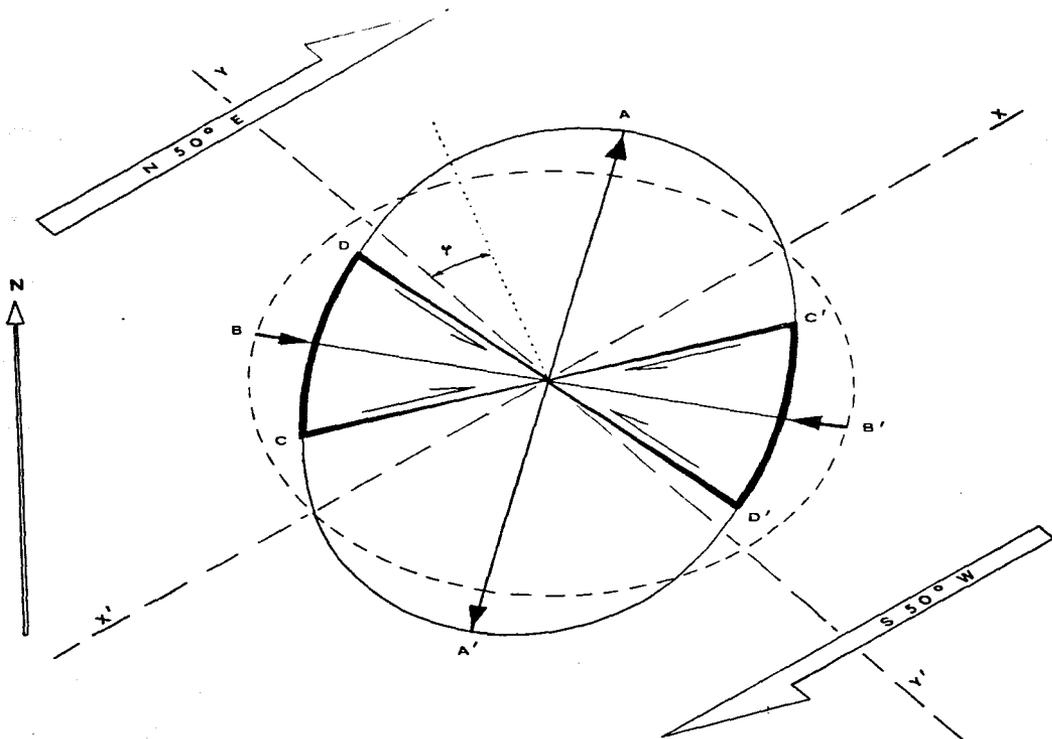


Figura Nº 37. ELIPSE DE ESFUERZOS-DEFORMACION Y RUPTURA EN UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A UN SISTEMA DE FALLAS DE TORSION, ORIENTACIONES:

- AA' Eje Mayor: Paralelo a los ejes de Plegamientos.
 - BB' Juntas de Tensión o Fallas Normales "en echelon"
 - CC' y DD' Juntas de Esfuerzos de Corte Conjugadas "en échelon" o Fallas de Corrimiento de Rumbo.
 - XX' Rumbo Original de las Fallas de Torsión o Zona de Torque.
 - γ Angulo de Esfuerzos de Corte, incrementa con el esfuerzo cortante, respecto al eje YY'.
- Según Wilcox et al. (1973)

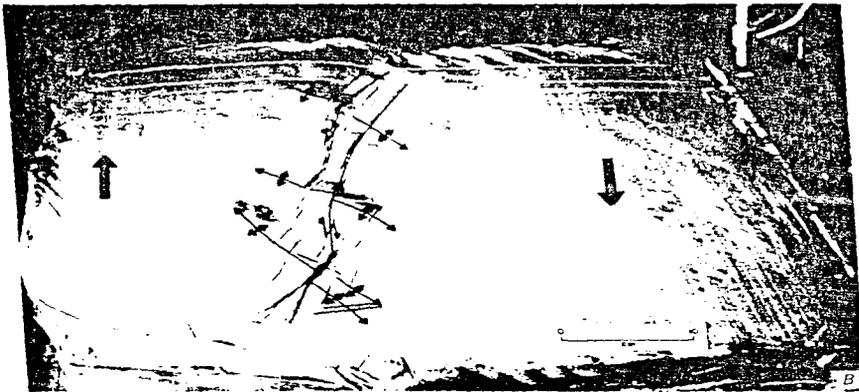


FIGURA N° 38. Modelo de laboratorio con barro de un Sistema de Fallas de Torsión Lateral derecho con 22 de convergencia (A,B= 2 etapas, vistas oblicuas). (De un trabajo no publicado de P.G. Temple, En Wilcox et al., 1973).

las cuñas sedimentarias que se aportan a la acumulación secuencial que conforman el Prisma acrecionario del Terreno Mexicano. Dos de estos dominios de tendencias deformacionales quedan independizadas por una discontinuidad de rumbo al noreste la cual encuentra la base del Cañón submarino, en el Prisma; esta evidente discontinuidad es paralela a otra semejante producida, en el Prisma, por la Zona de Fracturamientos O'Gorman en su porción subducida, se detecta su tenue influencia sobre el Talud superior y pierde expresión superficial en la Plataforma Continental para volver a ser manifiesta, como ya se mencionó, con sismicidad cerca de Pinotepa Nacional.

En este análisis las regiones altas aportaron poca información (Figura No. 22) debido a la disminución del poder resolutivo del Método en este tipo de localidades, pues tanto por un lado la Plataforma Continental y la Planicie Costera contigua, remedian a un plano sin rupturas de pendientes "significativas"; como por el otro lado, la Provincia de la Sierra Madre del Sur, en la localidad, presenta un alto grado de complejidad. El análisis en otra escala menor aportaría resultados complementarios, y aquí no se realizó.

IX.6. DE LOS RESULTADOS DE LA MORFOMETRIA

Las interpretaciones de los rasgos resultantes en el Análisis Morfométrico (Figura No. 28) han quedado delineados en los ejes morfométricos que a su vez denotan a los ejes de sincliformas

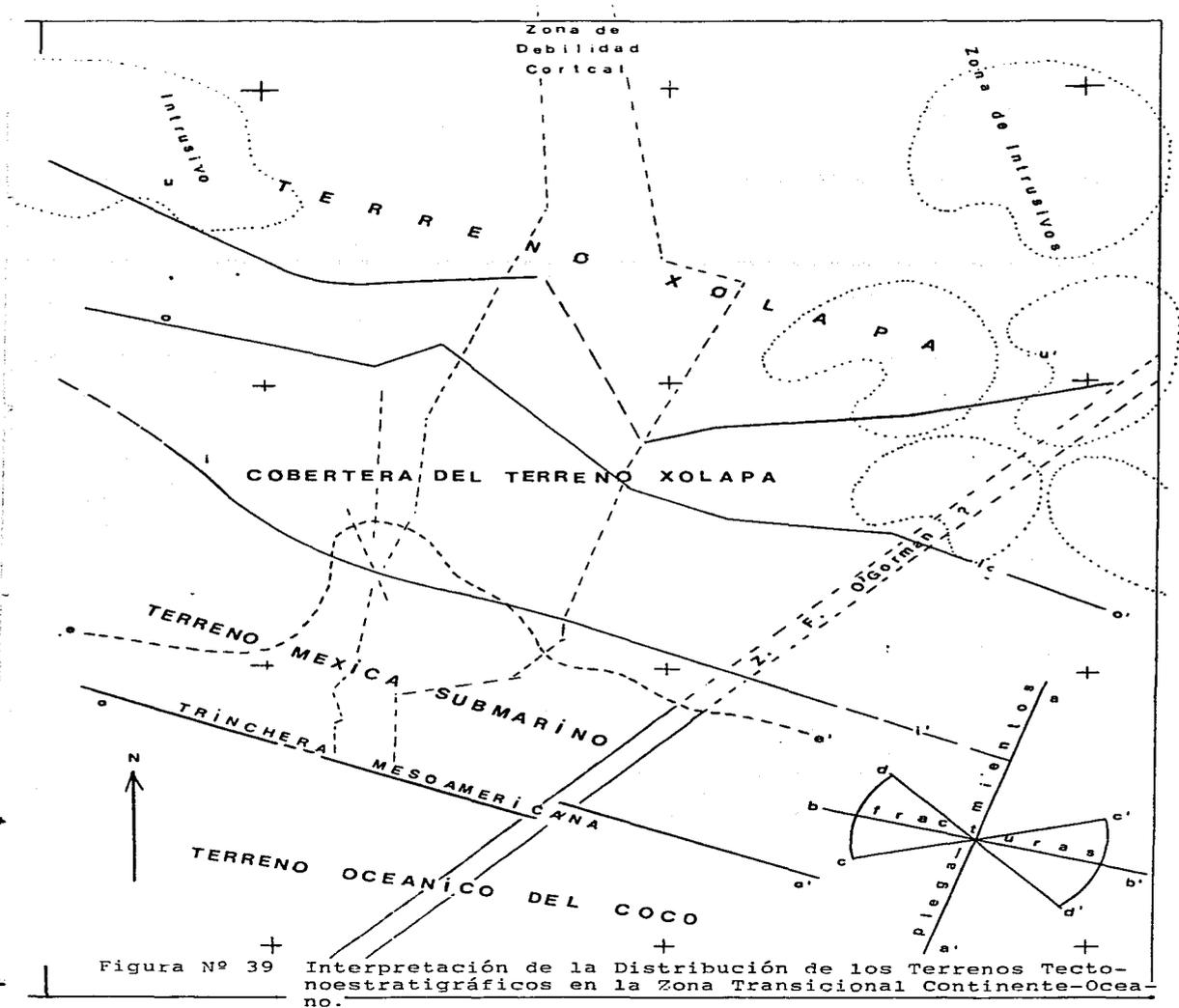
y anticliformas en el subsuelo. Hasta aquí quedan enmarcadas las expresiones lineares de evidencias físicas de las estructuras morfológicas. El plano de rasgos interpretativos de él obtenido, (Figura No. 29) resume la interpretación con el Método Morfométrico y recopila otros rasgos importantes por prominentes o consistentes, resultado de los otros Métodos Morfológicos. Ahí, se bosqueja la configuración del delineamiento de las zonas de discontinuidad estructural. Algunas de éstas se asocian a verdaderas fallas, juntas o regiones de debilidad supuestamente corticales para el caso. En base a la Metodología y de acuerdo al comportamiento de aquellas, el orden de magnitud del fracturamiento si supera en mucho, tanto al espesor de la corteza continental como al Prisma Acrecionario en su tamaño.

En estas configuraciones, que justifican los mayores lineamientos interpretativos, apoyan una buena correspondencia tanto en la correlación estructural en el dominio marino o terrestre, como en la correlación regional de continente al océano. Este control estructural es único y pervasivo en términos topológicos en: el substrato, su relieve y su carácter en el sistema de drenaje.

Entonces, volviendo a las configuraciones anteriores, sobre el continente destaca en primer término una gran zona de discontinuidad regional en dirección general N-S y corrimiento dextral que ha dislocado a un bloque respecto al otro, de

dimensiones corticales. Este desplazamiento aparenta ser del orden de 25 km. En ambos bloques, en las porciones extremas, alejadas de esta zona de fallamiento ocurren los intrusivos, también como ya se ha visto con las otras técnicas. Esta zona de discontinuidad regional, tiene un ancho mayor de 12 km e incide en la Bahía Dulce, para continuar hacia el sur, definiendo una faja relativamente baja, buzante desde el Piedemonte de la Sierra a la Trinchera. Las figuras Nos. 28 y 29 ilustran muy bien esta zona de ruptura principalmente en el núcleo continental. A esta discontinuidad se asocia una debilidad con movimiento de la corteza en el pasado geológico, previo a la ruptura de la paleomargen continental hace más de 22 Ma: rasgo linear ii' (Figura No. 39).

Los rasgos largos delineados subparalelamente a la Línea de Costa, han sido señalados con las letras vocales en las Figuras Nos. 27, 29 y 39. Estos apoyan consistentemente la interpretación multicitada de esa zona baja de debilidad cortical, construida por fracturamientos y pliegues en el ámbito interior de un Sistema de Fallas de Torsión (Figuras Nos. 37 y 38) a lo largo del cual el sistema de efluvios del Río Ometepec y su Cañón submarino, se dá curso en forma sigmoidal cuando sortea los obstáculos del plegamiento, fallas y contactos. Así el carácter sigmoidal obedece con los lineamientos tectónicos como también se refirió en otro Método: fallas y pliegues o bien cordones formados en las cornisas que asoman las cuñas apila-



das así como por la posible argiloquinésis entre sus contactos. Todas estas formas y sus orientaciones han registrado de alguna manera la deformación y direcciones que les ha impuesto la distribución de esfuerzos del Sistema dextral de Torsión.

Es sorprendente el paralelismo regional que guardan los cuatro lineamientos que remedan a la línea de Costa (LC) y asimismo a la orientación de "Juntas de tensión y fallas normales en échelon" de la elipse de esfuerzos-deformación (Eje BB', S76°E, Figura No. 57). Estos cinco lineamientos están señalados con las letras vocales y representan respectivamente:

aa': Al Eje de la Trinchera Mesoamericana que coincide regionalmente con la traza de falla de tres subplacas o planos coaxiales: el de Benioff, la Planicie Abisal y el Talud inferior.

ee': Eje de una sincliforma que sugiere un reborde de pronunciamiento inferior en la arista más profunda del Prisma acrecionario y al pié del límite del continente. Este lineamiento se curva o se cruza y confunde con otro eje de una anticliforma que curiosamente sigue la dirección de la zona baja de los engolfamientos, y en la profundidad adelgaza un poco más a la Zona de Debilidad Cortical citada varias veces. (Figuras Nos. 28 y 59).

ii': Lineamiento que define la ubicación del límite continental en su extremo más suriano frente a Guerrero-Oaxaca.

oo': Línea de Costa (LC: en todos los planos de configuraciones) que evidentemente acusa el engolfamiento de origen estructural de la Bahía Dulce y la región bajo del Río Ometepec. Inmediatamente hacia el Este se acusa la cima dorsal del bloque cortical oriental, que da forma cuspada a "Punta Maldonado" y explica al Banco Tártaro como un alto estructural y no solo topográfico (varias figuras).

uu': Lineamiento del Eje de una sincliforma en la base de la corteza continental, muy larga y dislocada en la Región de Debilidad Cortical. Su formato linear está dado por otros rasgos similares paralelos y congruentemente deformados sugiriendo una coincidencia con sendos dominios de intrusivos fanerozóicos lejanos a la Región de Debilidad Cortical, hacia el E y el W (véase Figuras Nos. 28 y 39).

En el interior de los espacios entre lineamientos se distingue claramente la progresiva variación en proporción directa, de las deformaciones y rupturas, con respecto al incremento del espesor cortical y asimismo del Prisma. En esa misma relación están las longitudes y espaciamentos de los elementos estructurales.

En el espacio cercano del Terreno Oceánico del Coco, al sur de la Trinchera aa' se presenta un patrón de distribución de estructuras paralelas a la dirección de ese lineamiento y a la tendencia de las anomalías magnéticas, confirmando así el

fallamiento normal en la placa subductiva para generar las fos as de la Trinchera. También hay rasgos perpendiculares al Eje de la Trinchera que determinan discontinuidades estructura les a lo largo de la misma. (Figuras Nos. 28 y 29).

En el espacio comprendido entre los lineamientos $\overline{aa'}$ en la Trinchera y el $\overline{III'}$, que indica la posición del límite sur continental, se enmarca la zona receptáculo del prisma acreciona rio del Terreno Mexica Submarino. Este cuerpo define el relic ve del Talud "Continental" (superior e inferior) el cual, da das estas interpretaciones, en lo sucesivo no deberá calificar se como continental dado que su origen es marino. En este espacio se distinguen dos porciones (Figuras Nos. 29 y 36):

En la parte occidental al Prisma, mediante la morfometría, se re fleja la superficie de su base en "contacto" con la Zona de Benioff con un arreglo de sincliformas y anticliformas paralelas entre sí, orientadas WSW-ENE cuyos ejes buzan hacia el ENE. La rugosidad de esta superficie "ondulada" es del orden de 1 km y el espaciamiento entre sus planos axiales es de 13 km en promedio. Esta ondulación parece adelantada hacia el NNE sobre el engolfamiento que produce la desembocadura de la Zona de Debilidad del hinterland continental. Este avance así como su rumbo estructural, a manera de un Homoclinorium (?), así como sus homólogos paralelos bajo el continente, sugieren una pervasividad de los esfuerzos deformantes impuestos por el Sistema de Fallas de Torque Dextrógiro. La Rosa de Orienta-

ción de la Elipse de Esfuerzos-Deformaciones apoya tal dirección ENE. (Figuras Nos. 28 y 37).

Bajo la porción central del Talud se presentan los ejes de anticliformas y sincliformas paralelos entre sí y de menor tamaño conforme disminuye el espesor del Prisma; sus direcciones son N-S franco y son buzantes hacia el N. Se define otra superficie ondulada, base del Prisma, con una rugosidad estimativa de medio kilómetro y un espaciamiento medio entre planos axiales de 5 km. aprox. Asimismo, la estructura Homoclinorium (?) a la cual sigue, se sumerge bajo el hinterland continental con rumbo NNE. El relieve del fondo marino sobre el Terreno Mexicano Submarino en toda su cubierta, presenta los lineamientos típicos de un prisma acrecionario dados por el apilamiento de las cuñas sedimentarias confirmadas en las secciones acústicas continuas como se describió en el Capítulo V, anterior.

El espacio estructural entre los lineamientos: $\overline{ii'}$, $\overline{oo'}$ y $\overline{uu'}$ sugieren la delimitación de la capa de cobertera sobre el hinterland continental del Terreno Xolapa y algún otro Terreno (?). Esta región comprende la totalidad de la Planicie Costera del Pacífico en el segmento estudiado y su Plataforma Continental Submarina; aquí el calificativo "continental", si es más exacto. Los ejes de las formas profundas son más regionales y corren buzantes rumbo al NE. En la porción oriental no se tiene una buena respuesta por ser el área donde se trunca la información del documento de análisis, pero se infiere

extrapolando desde el SE, la influencia estructural identificada como discontinuidades, provocadas por la Zona de Fracturamientos O'Gorman subductiva bajo el Talud y la Plataforma Continental-Planicie Costera. (Figuras Nos. 28, 29 y otras).

La porción al norte del Lineamiento uu' define mediante los ejes de sincliformas y anticliformas, así como con sus discontinuidades y cambios de dirección abruptos; a los dos bloques corticales desplazados. La Zona de Debilidad cortical, entre ellos como ya se explicó anteriormente. apoya también el carácter sigmoidal que toma la totalidad de la zona baja así como el curso del Cañón submarino de Ometepe, desde su valle o bajío en el continente hasta la Trinchera, obedeciendo, como también se ha dicho, a un Sistema de Torque Dextrógiro (Figuras Nos. 28, 29, 37 y 38) el cual se discute adelante.

IX.7. DEL SISTEMA DE ESFUERZOS DEFORMANTES

Parece ser evidente un campo regional bajo esfuerzos en donde se encuentra involucrada el área de este trabajo. Los esfuerzos dominantes aquí se identifican con el gran sistema de megashears de la República Mexicana (Aguayo y Marín, 1988, op. cit) de ahí se deriva que el área está sometida a un Sistema de Fuerzas de Torque de rotación derecha de tal manera que la zona más aprehensiva de deformaciones, plegamiento y fracturamientos, se ubica en la porción central.

Un análisis cualitativo de la distribución de esfuerzos se ha llevado a cabo a partir de los elementos estructurales observados e interpretados con los Métodos adoptados. En él, se han obtenido consistentemente las orientaciones preferenciales de los rasgos deformativos acusados por una y otras técnicas aplicadas. Y con estos, se ha observado que muchos plegamientos, fallas y juntas resultantes del Sistema interno de Fuerzas de Torque inciden en el campo de direcciones que exigen los modelos dinámicos, tanto en la Elipse de Esfuerzos-Deformación con una orientación es $NW76^{\circ} \pm 50^{\circ}$; así como la expresiva, de distribución de deformaciones que exhibe el modelo en barro en P. Temple, en Wilcox et al., 1973. (Figuras Nos. 37 y 38). Estos dos modelos expresan el carácter del Sistema de Torsión y su actitud en el interior del área estudiada. De acuerdo con la integración de resultados se explica la creación de la Zona de Debilidad Cortical como un adelgazamiento tenue de la corteza auspiciado por los pliegues, fallas y juntas internos que en conjunto han dado un efecto de colapsamiento y así propiciando el deslizamiento dextral de los bloques mucho antes que el truncamiento continental miocénico.

El efecto de deformación y ruptura del Prisma Acreeionario también refleja los mismos efectos correspondientes a los dos modelos dinámicos citados. Esto significa que, al menos, en la época holocénica ha habido reactivaciones en el Sistema interno del Torque de tal manera que el Prisma del Terreno Mexi

ca Submarino prolonga aquel carácter sigmoidal del curso del entalle del Cañón de Ometepec. Y por otro lado, este Cañón ha abandonado su antiguo curso para tomar el que hoy conocemos. En otro sentido, el prisma acrecionario ha controlado con sus efectos tectónicos al curso del Cañón de Ometepec los cuales han sido más rápidos que la sedimentación. Esto significa que el Cañón no ha cortado a la corteza continental sino que ésta ha reactivado sus hendiduras producidas por el Torque y el curso sigmoidal del Cañón ha seguido al fracturamiento tectónico, indiscutiblemente complejo.

IX.8. DE LA GEODINAMICA Y RECAPITULACION DE RESULTADOS INTEGRADOS

Tomando en consideración los resultados de la morfología integrados con los de los métodos geofísicos y que han sido plasmados en los últimos planos, configurando una distribución estructural de la Zona Transicional Océano-Continente en el sur de México: Se ha avalado una interpretación de la región de debilidad cortical del continente, ubicada en la franja que enmarca al curso sigmoidal del valle o bajío del Río Ometepe y su continuidad hacia el océano, con ese carácter impuesto por el Sistema de Fallas de Torsión expuesto. El comportamiento se explica mediante el control tectónico que definitivamente ha dominado en la Zona el campo interior de esfuerzos de un Sistema de Fuerzas de Torque. La expresión de los caracteres de formantes en los pliegues y en las rupturas, se ha visto que, responde muy bien a los modelos, tanto analíticos, con la Elipse de Esfuerzos-Deformaciones y Rupturas (Figura No. 37), así como al modelo físico de laboratorio con paquetes de barro (Figura No. 38) que involucran en ambos casos a un par de fuerzas (i.e. Sistema de Fallas de Torque). Los resultados de ambos modelos sugieren orientaciones preferenciales en pliegues, fallas y juntas: pliegues en échelon, fallas y juntas sintéticas y antitéticas; verticales, normales y de corrimiento, fallas de cizalla tipo Riedel (i.e. de ángulo bajo y sus conjugadas de gran ángulo) etc.; muchos de estos rasgos involucran al basamento.

Se concluye así, que la región estudiada está sometida a un Sistema de Torsión asociado al que fué propuesto para el territorio de la República Mexicana por Aguayo y Marín (1987) en su distribución de Rasgos Morfotectónicos Mayores. En particular queda encuadrada exactamente entre sus sistemas estructurales "octavo" y "noveno", dos lineamientos NE45°-55°SW que incluyen la Sección Regional de Análisis Gravimétricos GG' del Pacífico al Golfo de México (Figuras Nos. 1, 5 y 6), la cual interseca muchos lineamientos en la región estudiada.

La respuesta geomorfológica con las orientaciones de los rasgos morfométricos, con preferencias entre las direcciones NW76° ± 30°, han tenido una constante congruencia en las comparaciones con los dos modelos expuestos (Figuras Nos. 28, 29, 37 y 38).

La Sismología de Temblores Naturales del área en cuestión ha sido integrada en tres facetas, para comparar con los resultados morfométricos y del análisis de direcciones de esfuerzos actuantes en el Sistema de Torsión, éstas son: a) Un Análisis de la Sismicidad elaborado en la localidad a partir de temblores sísmicos someros ($h < 60$ km) del lapso 1966-1982 Boletín México (Figura No. 40). b) De un análisis estadístico de valores del parámetro "b", de homogeneidad sismo-tectónica, realizado por Centeno (1982); se ha comparado el comportamiento regional así como su actitud en la localidad. c) El análisis del "Temblor - Doblete" del 7 de junio de 1982 que inci

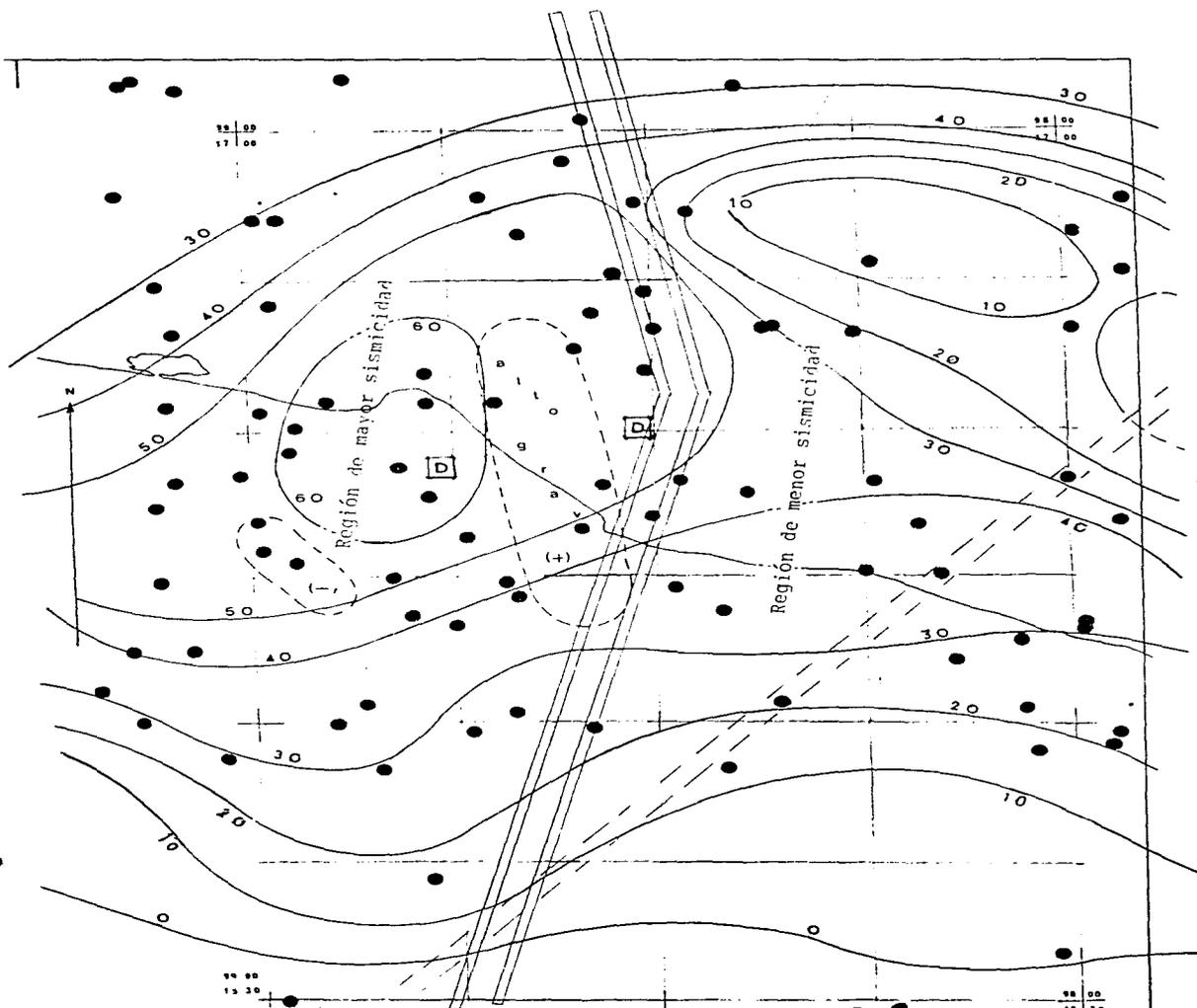


FIGURA Nº 40 Epicentros Sísmicos Someros $h < 60$ km, el Doblete [D] y curvas de Igual Ocurrencia Relativa de Sísmos y otros rasgos.

dió en la parte central del área estudiada elaborado por Z. Jiménez, 1991 (comunicación personal) a partir de una reexaminación.

- a) A partir de los epicentros de temblores someros mostrados en la Figura No. 40, se ha obtenido la sismicidad local en la configuración de curvas de igual ocurrencia sísmica. Se observa que la mayor asiduidad de eventos sismológicos se ubica hacia la porción media occidental del área estudiada no obstante que la totalidad de ésta incide exactamente en la Brecha (de quietud) Sísmica de Ometepec, de Singh (1980).

De ella se interpreta el contraste con mayor actividad sismológica a lo largo de la Zona de Debilidad Cortical y su porción occidental. Ahí es donde se concentran los efectos de liberación de esfuerzos del campo interno al Sistema de Fallas de Torsión discutido, lo cual tiene, hoy día, una actividad geodinámica manifiesta.

En esta porción occidental se tiene la localidad de máxima actividad relativa al Oeste de la Bahía Dulce, en la misma región donde se ubica el umbral que cambió de cauce al Cañón Submarino de Ometepec de un rumbo SW al Sur franco en tiempos del Reciente, no hace más de cien mil años, época (?) de la última glaciación. En otro aspecto en esta misma localidad las tendencias de máximos/mínimos de anomalías magnéticas de dirección $N58^{\circ}W$ presentan discontinuidades

sugiriendo dislocamientos N-S en la Zona de Debilidad Cortical (Figura No. 41) y el Plano de Anomalías Gravimétricas de Aire-Libre ofrece un contraste importante entre dos anomalías locales, sugiriendo un borde estructural N-S en la misma Zona, Figuras Nos. 10 y 40. Se hace énfasis en que todas estas anomalías del potencial natural son expresiones de los basamentos sin relación importante con la cobertera sedimentaria, de modo que, la orientación de la curva de los cero-mGal sigue de cerca al límite continental.

- b) En el Capítulo IV.1 de El Marco Geotectónico-Dinámico, se ha explicado el significado del valor de "b" para temblores someros ($h < 60$ km) en el sur de México. Aquí se concluye lo siguiente: que la porción media occidental es sísmicamente más activa que la oriental, no obstante que éste último segmento muestra un valor "b" más alto y está de acuerdo con el carácter sismotectónico del Sur de México. Esto es debido a que la región sísmicamente más activa que envuelve a los valles y Cañón Submarino de Ometepepec están contenidos en el vecindario de la Zona de Debilidad de la corteza continental y de su influencia comunicada al Prisma Acresionario. Esto hace suponer, en términos relativos, que los valores de "b" representan el comportamiento de la Zona de Debilidad Cortical en el Prisma y Continente (i.e. "b" en donde $h < 25$ km) y que aquellos de la región oriental representan el comportamiento tanto del Prisma y el continente

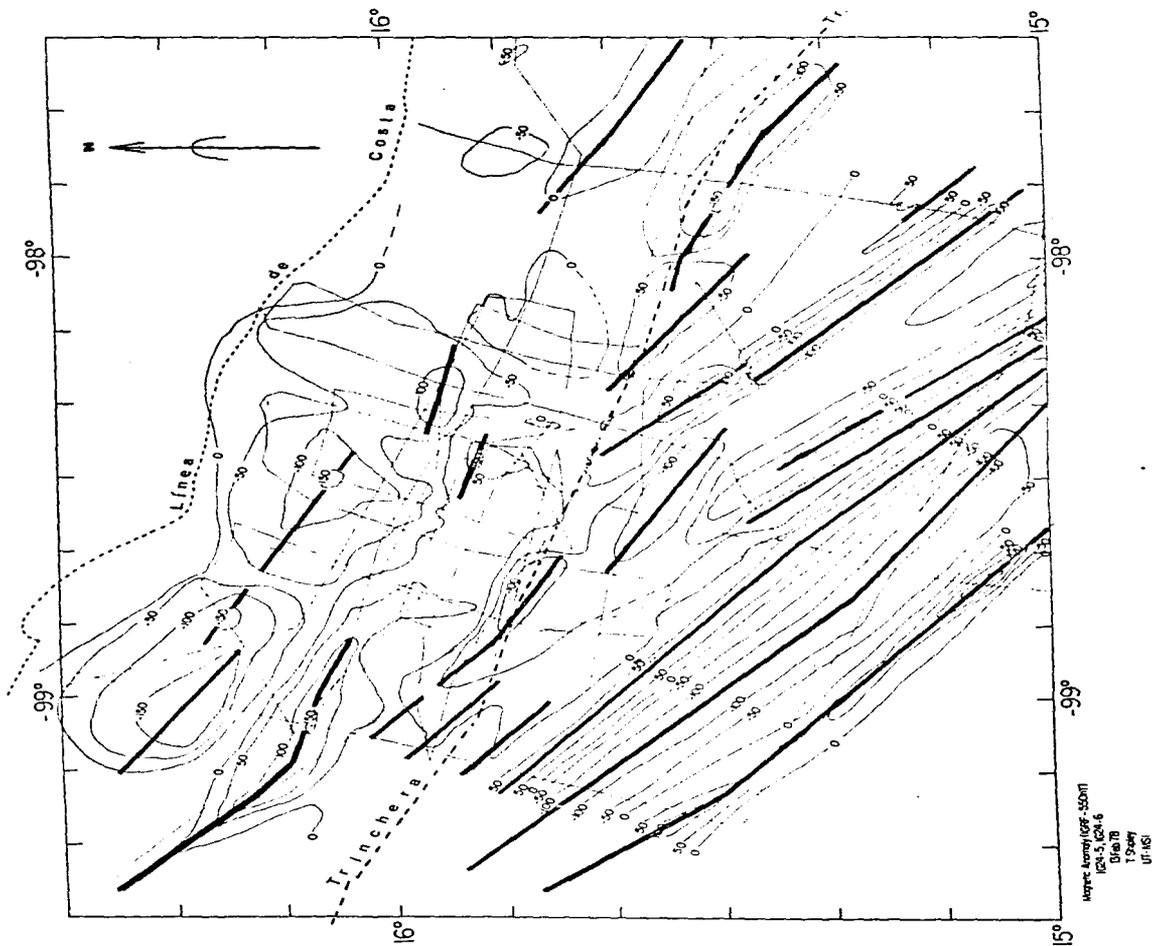


Figura Nº 41 Configuración de Anomalías Magnéticas y sus Tendencias, en el Area Estudiada (Proyecto Ariadne 03 MSI-UT=ICML-UNAM).

como de la Zona de Fracturamiento O'Gorman, cuyos efectos de rugosidad y reactivación en la subducción; tienen una influencia importante a profundidad para incrementar el valor de "b" y siendo así, ésta manifestación más representativa de las profundidades mayores a 25 km (o sea, $25 \text{ km} < h < 60 \text{ km}$), también en términos relativos, (i.e. del Prisma, el continente y la placa oceánica subducida).

- c) La localización de los epicentros "Doblete Sísmico" del 7 de junio de 1982, también se muestra en las Figuras Nos. 40 y 42 cerca de Punta Maldonado, Gro. Ambos eventos se presentaron en la región de influencia de la Zona de Debilidad Cortical y que corresponde a la parte central crítica del campo de fracturamientos interno al Sistema de Fallas del Torión discutido. Los mecanismos focales de ambos eventos del Doblete Sísmico (Figura No. 42) tienen sendos ejes nodales prácticamente en coincidencia con la dirección del Eje de Juntas de Tensión y Fallas Normales en-échelon de la Elipse de Esfuerzos-Deformación Figuras Nos. 37, 38 y 43. Así entonces, se considera que el fenómeno del Doblete Sísmico se suscitó en el seno de la corteza continental, de acuerdo con sus profundidades respectivas a su orden, de 19 km y 16 km, en los bordes de una anomalía gravimétrica (Figs. Nos. 10 y 40) que exige la presencia de un cuerpo de alta densidad que proyecta una prolongación tierra adentro en la parte soterrada del Terreno Xolapa y al parecer distinto a éste. Presumi

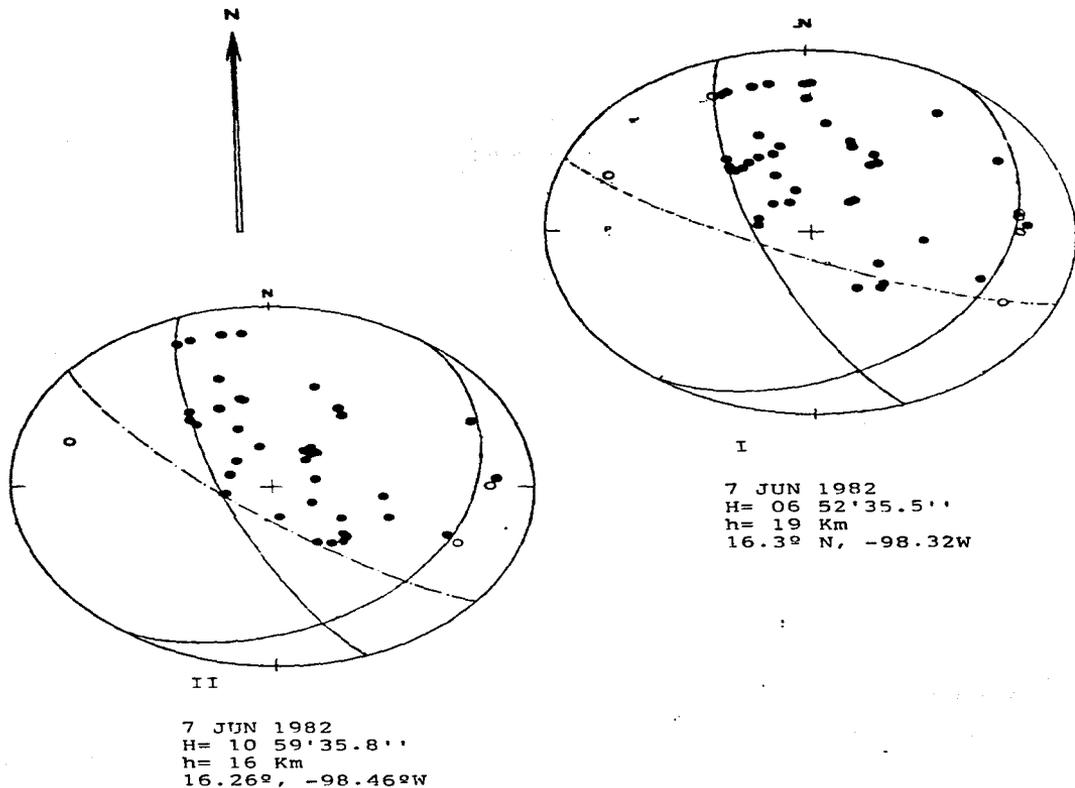


Figura No. 42. Soluciones de los Mecanismos Focales del "Temblor el Doblete" del 7 de Junio de 1982. Proyección del hemisferio inferior de la esfera focal. Los círculos llenos representan compresiones, los vacíos dilataciones. Según Zenón Jiménez (1991) Inst. de Geofísica, UNAM. (Com. Pers.)

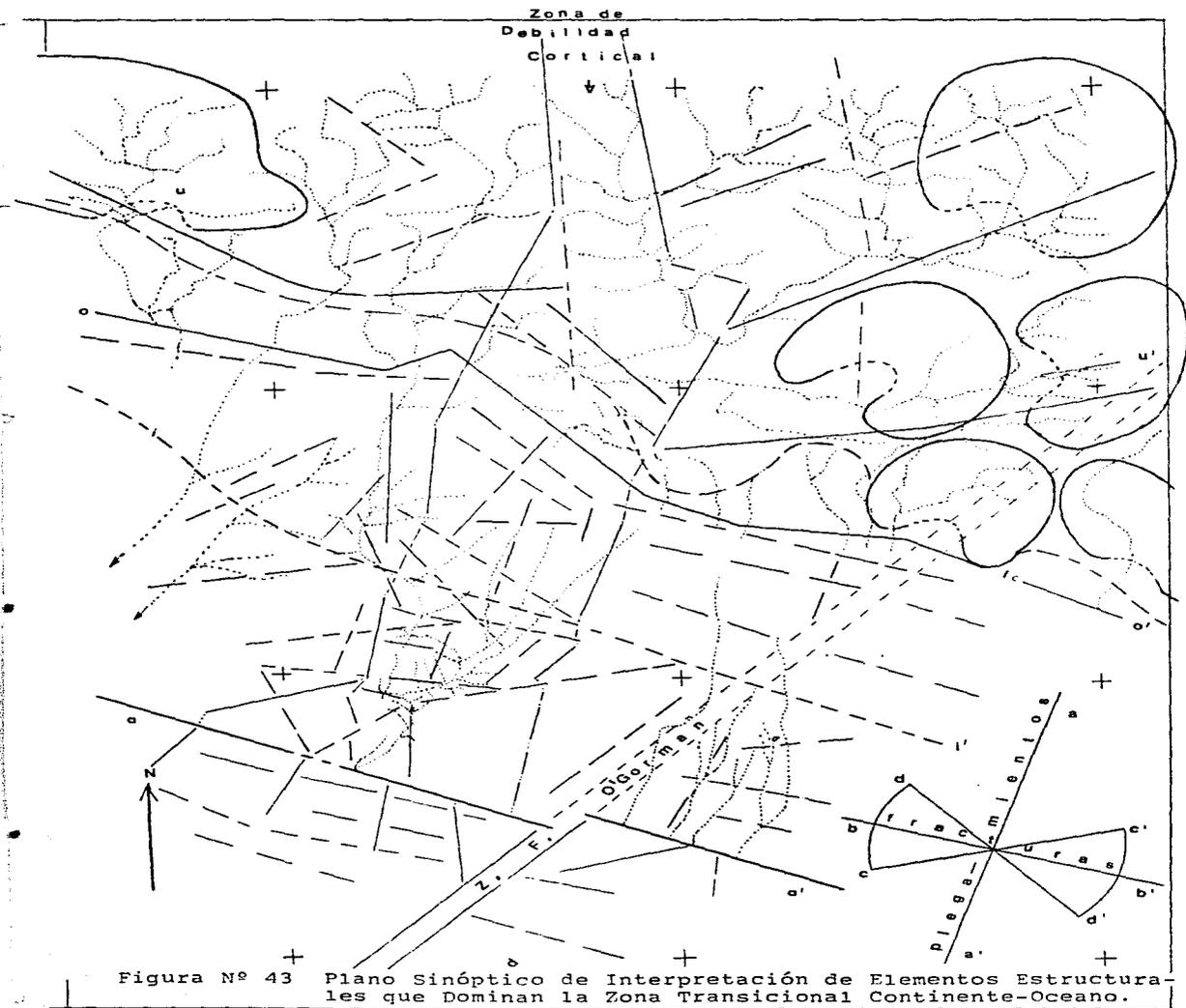


Figura Nº 43 Plano Sinóptico de Interpretación de Elementos Estructurales que Dominan la Zona Transicional Continente-Oceano.

Intrusivos fanerozoicos

blemente este cuerpo pesado se asentó en el doble evento debido a los esfuerzos distensivos de dirección NE-SW, de efectos mecánicos consistentes.

Si algún otro Terreno Tectonoestratigráfico identificado en el norte de los Estados de Guerrero y Oaxaca tiene una continuidad hacia el mar actual, por debajo del alóctono Terreno Xolapa, con su remanente obductivo del pasado, éste estaría asociado a la anomalía gravimétrica referida y podría ser alguna porción del Terreno Mixteca, puesto que el Terreno Xolapa no presenta aparentemente anomalías gravínicas de este tipo en particular, Figuras No. 10 y 40, asimismo ese cuerpo pesado aparenta estar a mayor profundidad que el cuerpo del Xolapa. Y en otro sentido, los cuerpos intrusivos fanerozóicos en el Terreno Xolapa, como aquí se ha observado, son más ligeros, someros y lejanos respecto a la Zona de Debilidad reportada (Figura No. 43).

IX.9. DEL MODELADO Y LA METODOLOGIA ADOPTADA

Después de haber obtenido un modelo nuevo por medio de un estudio integrado como el que se ha propuesto, si éste es aceptado, se requerirán aplicaciones similares en áreas adyacentes si se quiere tener un panorama a escala global.

Se espera que este estudio haya cumplido con sus resultados y sean más positivos y más confiables, para así poder plantear nuevas ideas en cuanto a la evolución geodinámica de esta porción continental y sus regiones marinas adyacentes. Por lo tanto, en términos de su evolución en el pasado Geológico y da das las condiciones tectónicas y sismológicas resultantes en el sur de México, se intentará dilucidar sobre el comportamien to actual de algunos rasgos geológicos activos para tener una expresión realista de su geodinámica presente.

El modelo, se espera será de utilidad como marco de referencia para elaborar una hipótesis de trabajo y eventualmente aplicado a estudios acordes con la predicción del comportamiento geo dinámico de la región. La problemática entonces, sugiere el planteamiento de algunas cuestiones básicas que surgen en este proyecto.

De la información alusiva disponible se ha visto que los datos topográficos y geofísicos obtenidos hasta el presente en altamar y en continente en el sur de México, sus tratamientos y resultados, no obstante sus limitaciones técnicas y geográfi cas; son relevantes, útiles y aplicables al estudio multidisciplinario integrado de Geofísica y Morfología para elaborar un

modelo nuevo de la tectonodinámica. Si éste modelo y sus implicaciones, aplicado como hipótesis de trabajo aporta interpretaciones funcionales útiles para otro tipo de análisis posterior, se dará por satisfecho el objetivo de éste trabajo.

En los términos y conceptos junto con los resultados antes planteados, el conocimiento de la geología regional y su dinámica en el área estudiada hará posible establecer extrapolaciones interpretativas, mejor fundamentadas hacia el pasado geológico, y su evolución en la escala geológica. Y en otro sentido, en otra escala de lapsos menores, el modelo operacional ayudará eventualmente en extrapolaciones interpretativas de predicción de eventos sísmicos en intervalos de tiempo adecuados.

CONTRIBUCIONES

Se concluye así con la recapitulación de los aportes que pretende este trabajo desarrollado en la Geología Marina de nuestro país.

- Se concreta un modelo Gravimétrico de la Corteza Meridional de México en cuyo extremo al-Pacífico:
- Se explican las anomalías gravimétricas, de Aire Libre e Isostáticas, negativas, como un carácter normal y típico de los bordes circumpacíficos con subducción.
- Se adoptan y verifican métodos geomorfométricos nuevos.
- Se confirman con geomorfometría un segmento del límite Continental del Sur de Guerrero y Oaxaca dado previamente por la Geofísica.
- Se define y caracteriza al Terreno Mexicano Submarino como un Terreno Tectonoestratigráfico para-autóctono, así como el Terreno Océánico del Coco, como alóctono.

AGRADECIMIENTOS

Yo no podría amalgamar esta memoria sin rendir homenaje a todos los que me han apoyado, espiritual, moral o materialmente:

Al creador de cuyas obras son dignas de escudriñarse por aquellos que les aman.

A mis amados padres D. José Sandoval Quezada y Da. Ma. del Refugio Ochoa de Sandoval por traerme a ese reino de la naturaleza.

A mis queridos esposa e hijos cuyos apoyos y estímulos me hacen continuar en mi formación profesional.

Al Dr. Agustín Ayala Castañares cuyos conceptos y lenguaje trascienden en y allende los Océanos, Coordinador del Proyecto PROGEMA (México), sinodal.

A los Dres. Messieurs, Claude A. Bobier, Coordinador del Proyecto PROGEMA (Francia), Michel Vigneaux, exdirector IGBA, Robert Prud'Homme, Jaques Gayet, Roger Griboulard, J.M. Froidefond y Mme. Fontas, por integrarme a su Escuela Geomorfométrica de la Université de Bordeaux I, incluso como alumno regular, con cuyas orientaciones y amistad, apartaron sus numerosas ocupaciones para darme su tiempo y su metodología... y con ello, mi pretendido "savoir-faire". Al M. de C. Georges Vernet, por su amistad y apoyo.

Al Dr. Eduardo Aguayo Camargo, Director de mi tesis, por sus valiosos comentarios y por ilustrarme en las discusiones sobre la temática de trabajo, quien como pocos conoce la Evolución Geológica de nuestro país, sinodal.

A la Coordinación Académica de la Investigación Científica de la UNAM. Coordinador Dr. Juan Ramón de la Fuente por apoyar mi Programa de Año Sabático en todo sentido y desarrollar éste en la Universidad de Burdeos, Francia.

Al Departamento de Géologie et Oceanographie, Institut de Géologie du Bassin D'Aquitaine; et son Directeur J.P. Testet, professeur a l'Université de Bordeaux I, por su apoyo en instalaciones, cómputo, papelería y telecomunicación, en especial al Prof. Jean Moyes, Directeur Departement.

A la Intergovernmental Oceanographic Commision, UNESCO, Secretary Gunnar Kullenberg por su entusiasta y oportuno apoyo.

A la Dirección General de Apoyo al Personal Académico de la UNAM por su apoyo económico a mi Programa de Año Sabático en Francia.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología encabezado por su Director, Dr. Jorge Carranza Fraser por apoyarme en el desempeño de mi Año Sabático en Francia y desarrollar mi Programa de Actividades del mismo, así como mi Tesis Doctoral.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM en la persona de su Director, Dr. Daniel Resendiz por su apoyo moral y económico, como profesor y miembro del Comigé de Carrera de Ingeniería Geofísica.

A todos los miembros de mi Jurado de Tesis y Examen de Grado y que no han sido mencionados antes, Dres.: Ingvar Emilsson, quien como pocos ha creado y desarrollado la Oceanología Mexicana, Cinna Lomnitz, investigador de amplia trayectoria en la Física de la Tierra y que ha dejado huella con señalamientos en la problemática de la Geofísica Mexicana; Gerardo Suárez R., Virgilio Arenas F., Alfonso Vázquez Botello y Faustino Rodríguez R. con cuya amistad y/o enseñanzas he podido escalar peldaños en las Ciencias del Mar y de la Tierra Sólida.

A los dibujantes y la Srita. Alejandra Estrada del Grupo de Trabajo en Geología y Geofísica Marina del ICMYL por el trabajo gráfico y de mecanografía.

A los Dres. David Salas de León y Néstor Arvizu por su amistad y el profesionalismo de sus funciones académico-administrativas.

BIBLIOGRAFIA

- AGUAYO, C.J.E. y S. MARIN C., 1987. Origen y Evolución de los Rasgos Morfotectónicos Postcretácicos de México. Bol. Soc. Geol. Mexicana, Tomo XLVIII, No. 2, p. 15-38.
- ALVAREZ, MANUEL, Jr., 1949. Unidades Tectónicas de la República Mexicana, Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XIV, p. 1-22, 1 Fig.
- ARIF BUTT, 1981. Syndepositional tectonics along the Middle America Trench with special reference to foraminiferal Bathymetry: Deep Sea Drilling Project Leg 66, Offshore Mexico-Geological Processes along an Active Margin. Initial Reports of JOIDES drilling DSDP66, 29: 671-680.
- ASTIZ L. and H. KANAMORI, 1984. An Earthquake Doublet in Omec-tepec, Guerrero, México. Phys. Earth Planet. Interiors. Vol. 34, p. 24-45.
- CAMPA, M.F. y CONEY P., 1983. Tectono-stratigraphic Terranes and Mineral Resources Distribution in Mexico. Canadian Jour. Earth Sci. No. 20, p. 1040-1051.
- CARR, M.J., R.E. STOIBER and C.L. DRAKE, 1974. The Segmented Nature of Some Continental Margins. In Burk, C.A. and C.L. Drake (Eds.) The Geology of Continental Margins. Springer Verlag, N.Y., Berlin. 105-114.
- CASTREJON, F.F. y A. PORRES, L., 1984. Un Modelo Estructural del Area de la Trinchera de Acapulco basado en métodos sísmicos. Tesis Profesional del Ing. Geofísico, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- COUCH, R. and S. WOODCOCK, 1981. Gravity and Structure of the Continental Margins of Southwestern Mexico and Northeastern Guatemala. Jour. of Geophys. Res. Vol. 86 B3: 1829-1840.
- DEAN, B.W. and C.H. DRAKE, 1978. Focal Mechanism Solution and Tectonics of the Middle America Arc; J. Geol. Vol. 86, p. 111-128.
- De CSERNA, Z. , 1965. Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur de México entre Chilpancingo y Acapulco, Edo. de Guerrero. Inst. Geol. UNAM, Vol. 62, p. 1-76.
- DE CSERNA Z. , 1976. Mexico-Geotectonics and Mineral Deposits. Reprint from New Mex. Geol. Soc., Spe. Publ. 6 (Kelly Vol.): 18-25.
- DE LA O. CARRENO, A. 1949. Cartas de Anomalías de la Gravedad en la República Mexicana.
- FAIRBRIDGE, R.H., 1968. The Encyclopedia of Geomorphology. Hutchinson and Ross, p. 1295.
- FIGUEROA ABARCA JESUS, 1956. Las Zonas Sísmicas de México. Anales del Inst. de Geofísica, UNAM. Vol. 2, p. 20-28.
- FIGUEROA ABARCA JESUS, 1970. Catálogo de Sismos Ocurridos en la República Mexicana. Reporte No. 272, Inst. de Ingeniería, UNAM, México.
- FISHER ROBERT L., 1961. Middle America Trench: Topography and Structure. Geol. Soc. America Bull., Vol. 72, p. 703-720.

- FONTAS PASCALE, et al., 1984. Study and Morphostructural Interpretation of the Front of Deformation of the Barbados Ridge Complex (Eastern Caribbean): Cartographic Analysis of Sea-Beam Bathymetry. Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux. No. 36, p. 51-65, 18 Fig.
- GARLAND, G.D., 1970. The Earth's Shape and Gravity, The Commonwealth and Intl. Library, Pergamon Press, N.Y. 183 pp.
- GRAJALES NISHIMURA, J. MANUEL, 1988. Geology, Geochronology, Geochemistry and Tectonic Implications of the Juchatengo Green Rock Sequence, State of Oaxaca, Southern Mexico. The Univ. Ariz. Dept. Geosc. M.S. Thesis.
- GONZALEZ, J., 1979. Algunas Características de los Temblores (m4.0) precedentes al terremoto (Ms = 7.8) de Oaxaca del 29 de noviembre de 1978. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias, UNAM.
- GONZALEZ RUIZ, J., 1986. Thesis University of California, Santa Cruz.
- GRIBOULARD ROGER, 1983. Analyse Morphostructurale de la Meseta Cotiere Septentrionale et du proche Plateau Continental (Moroc). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux. No. 33, p. 25-37, 22 Fig.
- GUERRA PEÑA, FELIPE, 1980. Fotogeología. Dir. Gral. de Publs. UNAM. 1a. Edición, 337 pp.
- GUERRERO G.J.C., 1975. Contributions to Paleomagnetism and Rb-Sr Geochronology. The Univ. of Tex. Dallas Ph.D. Thesis. 110 pp.

- GUNN ROSS, A., 1957. A quantitative study of Mountain Building on an Unsymmetrical Earth. Jour. of the Franklin Institute, V. 224, No. 1.
- GUTIERREZ ESTRADA, M.A., 1990. Morfosedimentología del Delta Submarino del Río Balsas, Michoacán, México. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar, UACPyP-CCH, UNAM. 215 pp.
- GUZMAN J. EDUARDO, 1950. Geología del Noreste de Guerrero. Bol. Asoc. Geol. Petrol. Mexicana No. 2, p. 95-156.
- GVIN, V. Ya., 1965. Using One Order Valley Length Maps to Predict Structure in the northern part of the Volga-Urals Petroliferous Province. Traducción DokLady (Proc.) Akad. Nauk. S.S.S.R., Janu-Févr, Earth Sc. Sect. Vol. 160 No. 1-6, nov. 1965, p. 16-18, 1 Fig., 1 Tabl. (i.e. Gvin y Filosofov G., 1965).
- HANDSCHUMACHER, D.W., 1976. Post-Eocene plate tectonic in the eastern Pacific. In: Sutton, G.H., Manghnani, M.H., and Moberly, R. (Eds.), The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its Margins: Am. Geophys. Union Monogr., 19: 177-202.
- HANUS V. and VANEK, 1978. Subduction of the Cocos plate and deep active fracture zone of Mexico, Geof. Intern. Vol. 17, p. 14-53.
- HELSEY, C.E., NATION, J.B. and MEYER, R.P., 1975. Seismic Refraction Observations in Southern Mexico. Am. Geophys. Union Trans. Vol. 56, p. 452.

- HERRON, E.M., 1972. Sea floor Spreading and Cenozoic History East Central Pacific. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 83, p. 1671-1691.
- HORTON, R.E., 1945. Erosional Development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative Morphology. Bull. Geo. Soc. America., Vol. 56, p. 275-370, 40 Fig.
- HOWARD, A.D., 1967. Drainage Analysis in Geology Interpretation, a Summation. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Vol. 51, No. 11, p. 2246-2259.
- JENNY, H., 1953. Geological Reconnaissance Survey of the Northeastern part of the State of Guerrero. Geol. Rept. No. 418 (Inédito) Zona Norte, Petróleos Mexicanos.
- KARIG, D.E., 1974. Tectonic Erosion at Trenches. Earth and Planet Sci. Letters, N. Holland Publ. Comp. Amstm. Print Netherlands, Vol. 21, p. 209-212.
- KARIG, D.E. and SHERMAN, G.F., III. 1975. Subduction and accretion in Trenches. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 86, p. 377-389.
- KARIG, D.E., R.K. CALDWELL, G.F. MOORE et al., 1978. Late Cenozoic Subduction and Continental Margin Truncation along the northern Middle America Trench. Geol. Soc. Am. Bull., 89: 265-276.
- KESLER, S.E., 1975. Basement Rock Structural Trends in Southern Mexico. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 84, p. 1059-1064.

- LARSON, R.L. and CHASE, C.G., 1970. Relative Velocities of the Pacific, North American and Cocos Plates in the Middle America Region. *Earth Planet. Sci. Lett.* Vol. 7, 425-428.
- LEFEVRE, L.V. and K.C. McNALLY, 1985. Stress Distribution and Subduction of Ascismic Ridges in the Middle America Subduction Zone. *J. Geophys. Res.* Vol. 90, p. 4495-4510.
- LUGO HUBP, JOSE, 1989. *Diccionario Geomorfológico*. Coordin. Ciencias; Inst. Geogr., UNAM, 1a. Edición, 337 pp.
- MALFAIT, B.T. and M.G. DINKELMAN, 1972. Circum Caribbean, tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean Plate. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83: 205-272.
- MENARD, 1964. *Marine Geology of the Pacific*: New York McGraw-Hill Book Co., 571 pp.
- MERLE PARVIS, 1950. Drainage Pattern Significance in Air-photo Identification of Soils and Bedrocks. *Photogrammetric Engineering*, Vol. 16, No. 3.
- MINSTER, J.B. and T.H. JORDAN, 1978. Present day Plate motions. *J. Geophys. Res.* Vol. 83, p. 5331-5354.
- MOGI, K. 1965. The Fracture of a Semi-infinite body caused by a inner stress origin and its relation to earthquake phenomena. *Bull. Earthq. Res. Inst. Tokio Japon.* Vol. 41: 595-615.
- MOLNAR, P. and SYKES, L.R., 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanisms and Seismicity. *Geol. Soc. Am. Bull.* No. 80, p. 1639-1684.

- MOONEY, W.M., MEYER, R.P., HELSLEY, C.E., LOMNITZ, C. and LEWIS B.R.T., 1975. Refracted Waves Across a Leading edge: Observations of Pacific Shots in Southern Mexico. Am. Geophys. Union Trans. Vol. 56, p. 452.
- MOORE, J.C., J.S. WATKINS and T.H. SHIPLEY, 1981. Summary of accretionary processes, Deep Sea Drilling Project Leg 66: Offscraping, Underplating, and Deformation of the Slope Apron. Initial Reports of JOIDES drilling DSDP 66, 42: 825-836.
- MORGAN, W.J., 1971. Convection, Plumes in the Lower Mantle, Nature, Vol. 230, p. 42-43.
- NAUDIN, J. JACQUES et ROBERT PRUD'HOMME, 1971. Methodes d'Analyses Morphologiques et Morphostructurales d'Interpretation des Topographies et des Bathymétries dans les Domaines Continentaux et Marins. Bull. Inst. Géol Bassin Aquitaine, p. 111-144b, 54 Fig. h.t.
- NAUDIN J. JACQUES, 1983. Analyse Cartographique: Etude Numerique des Caracteristiques Morphologiques des Surfaces. Application au Domaine Sous-marin Profond du Golfe de Gascogne (France). Mém. Inst. Géol. Bassin d'Aquataine, Bordeaux, No. 13, 299 pp.
- NAVA ALATORRE EMILIO, 1984. Estudio de los Temblores de Ometepec del 7 de junio de 1982 y sus Réplicas. Tesis Profesional de Ingeniero Geofísico, Fac. de Ingeniería, UNAM. 34 pp., 15 Figs., 3 Tabls.
- NAVA P., A. et al., 1988. Structure of the Middle America Trench in Oaxaca, México. Tectonophysics, Vol. 154, p. 241-251.

- NEIL LUNDBERG and J.C. MOORE, 1981. Structural Features of the Middle America Trench Slope off Southern Mexico, Deep Sea Drilling Project Leg 66. Initial Reports of JOIDES drilling DSDP 66, 40: 793-814.
- NOVELO CASANOVA, D.A., 1980. Sismicidad Profunda en el Sur de México. Tesis Profesional de Ingeniero Geofísico, Facultad de Ingeniería, UNAM, pp. 77.
- OLIVER, J., B. ISACKS, M., BARAZANGI M. and W. MILTRONOVAS, 1973. Dynamics of the down-going lithosphere, Tectonophysics Vol. 19, pp. 133-147.
- ORTEGA, G.F., 1981. Metamorphic Belts of Southern Mexico and Their Tectonic Significance. Geofis. Int., p. 177-202.
- ROSS N.A. y SHOR, G.G., 1965. Reflection Profiles across the Middle America Trench. j. Geophys. Res. Vol. 70, p. 5551-5572.
- SALAS G.P., 1949. Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca. Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petr. Vol. I, No. 2, p. 79-156, 35 Figs., 13 Seccs., 1 Mapa.
- SANDOVAL O. J.H., 1985. The Tecpan Regional Fault : Evidence for Major NE Lineaments. Geof. Int. 24, 1: 193-202.
- SCIUMM, A., 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Am. Bull. Vol. -67, p. 597-646.
- SECRETARIA DE MARINA, MEXICO, 1987. Carta Isobatimétrica, Zona Económica Exclusiva y Márgenes Continentales del Oeste de México. Punta Farallón a Río Suchiate. Dirección General de Oceanografía Naval.

- SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, MEXICO. 1982. Carta de México, Topográfica 1:250 000, Coordin. Gral. del Sist. Nal. de Info. Dirección General de Geografía, 255 pp. con mapas, en atlas.
- SEELY, D.R., P.R. VAIL and G.G. WALTON, 1974. Tranch Slope Model. *In*: Burk, C.A. and C.L. Drake (Eds.), The Geology of Continental Margins. Springer Verlag, N.Y., Berlin. 249-260.
- SHCHEIDEGGER, A.E., 1970. Theoretical Geomorphology 2nd Edit., Springer-Verlag, Berlin; 435 pp., 207 figs., 14 tabl.
- SHIPLEY, T.H. *et al.*, 1979. Seismic-reflection evidence for the Widespread occurrence of possible gas hydrate horizons on continental slopes and rises. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., Vol. 63, 2204-2213.
- SHIPLEY, T.H., K.J. McMILLEN, J.S. WATKINS, J.C. MOORE, J.H. SANDOVAL O. and J.L. WORZEL, 1980. Continental Margin and Lower Slope Structures of the Middle America Trench near Acapulco (Mexico), Marine Geol., 35: 65-82.
- SHIPLEY, T.H., 1981. Seismic Facies and Structural Framework of the Southern Mexico Continental Margin. Initial Reports of the JOIDES drilling Deep Sea Drilling Project, 66, 39: 775-790.
- SHOR, G.G. and FISHER, R.L., 1961. Middle America Trench: Seismic-refraction studies. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 72, p. 721-730.
- SHREVE, R.L., 1966. Statistical Law of Stream Numbers. Jour. Geol., London. Vol. 74, No. 1, p. 17-37.

- SHREVE, R.L., 1967. Infinite Topologically Random Channel Networks. *Geologic-Berlin*, Vol. 75, No. 2, p. 178-186.
- SINGH, S.K., ASTIZ L. and HAVSKOV, J., 1981 (1982). Seismic Gaps and recurrence periods of large earthquakes along the mexican subduction zone: a reexamination. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, Vol. 71, No. 3, pp. 827-843.
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks, In: "Handbook of Applied Hydrology", Chow, V.T. (Edit) Mac Graw-Hill, New York. Sect. 4-II p. 40-76, 31 figs.
- STOIBER, R.E. and M.J. CARR, 1973. Quaternary Volcanic Segmentation of Central America. *Bull. Vulcanologique*. 37, No. 3: 304-325.
- TALWANI, M., J.L. WORZEL and M. LANDISMAN, 1959. Rapid Gravity Computations for two dimensional bodies with applications to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 10: 49-59.
- TRUCHAN MARCK and ROGER L. LARSON, 1973. Tectonic Lineaments on the Cocos Plate. *Earth and Planetary Science Letters*, N-Holland Publ. Comp., 17: 426-432.
- TUCHOLKE, B.E., BRYAN G.M. and EWING J.J., 1977. Gas-hydrate horizons detected in seismic-profiler data from the Western North-Atlantic. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 61, 698-707.
- VENING MEINESZ, F.A., 1948. Gravity Expeditions at sea 1923-1938. Report, *Neth. Geod. Comm.*, Delftche Vitgevers Mij, Delft, The Netherlands.

- VERMA, S.P., 1985. Mexican Volcanic Belt (Preface), In: Verma, S.P. (Guest Edr.) Mexican Volcanic Belt, part 1. Geofísica Internacional, 24, 1: 7-18.
- WATKINS, J.S., K.J. McMILLEN, S.B. BACHMAN et al., 1981. Tectonic Synthesis, Leg 60: Transect and Vecinity, Initial Reports of JOIDES drilling DSDP66, 43: 837-849.
- WILSON, J.T., 1965. Evidence from Islands on the spreading of ocean floors, Nature, Vol. 197, p. 556-539.
- WILSON, J.T., 1965. Submarine fracture zones, aseismic ridges, and the International Council of Scientific Unions Line: Proposed Western Margin of the East Pacific Ridge, Nature, Vol. 207, p. 907-911.
- WOOLLARD, G.P. and J. MONGES CALDERA, 1956. Gravedad Geología Regional y Estructura Cortical en México. Anales del Instituto de Geofísica, UNAM. 2, 60-112.
- YAMAMOTO JAIME, 1986. Evidences of the Existence on an Abnormal Seismic Signal Attenuation in Southern Mexico. Geof. Int., Vol. 25-4, p. 521-536.
- ZENTENO ZUNIGA, E.A., 1982. Estudio Estadístico de la Sismicidad en México. Tesis Profesional. Ing. Geofísico, Fac. de Ingeniería, UNAM. 77 pp.
- ADDENDA
- LOMNITE, CINNA, 1974. Global Tectonics and Earthquake Risk. Elsevier Publications: 370 pp.
- SANDOVAL, O.J.H., 1991. Tectónica y Morfología a partir de Datos Geofísicos de la Margen Continental del Sur de Guerrero-Oaxaca, México. Bol. Soc. Geol. Mex., Tomo II, No. 2 25 pp. En prensa.
- WILCOX, R.E. et al., 1973. Basic Wrench Tectonics Bull. Ass. Petrol. Geol., V. 57, 74-96.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	CONTENIDO	PAGINA
1.	Plano de Localización: Area de Estudio Integrado de la Zona Transicional Océano-Contiente, Sección Gravimétrica Regional, La Trinchera Mesoamericana y Volcanes.	3
2.	Ubicación del Area de Ensamblaje, de Información de Relieves y Entalles: Submarino y Subaéreo; para el Análisis Morfométrico, etc.	6
3.	Vista Tridimensional, hacia el Occidente, del Relieve Submarino y Subaéreo dado por <u>Perfiles Seriados</u> para el Análisis de <u>Rupturas de Pendientes</u> , etc.	21
4.	Configuración de Líneas de Igual Profundidad de la Placa Subductiva del Terreno Océanico del Coco, etc.	31
5.	Sección Regional Gravimétrica GG ¹ ; que muestra el Modelo Cortical de México desde el Golfo de México al Cercano Océano Pacífico, etc.	35
6.	Sección de Análisis de Anomalía de <u>Aire Libre</u> en detalle del Prisma Acreeionario en la Zona Transicional Océano-Contiente, etc.	37
7.	Sección Sísmica de Reflexión Continua Multicanal al 2400% a través del Prisma Acreeionario y la Zona Transicional Océano-Contiente, etc.	39
8.	Sección Sísmica Migrada en Tiempo (OM-6N) ilustrando un ejemplo de las estructuras complejas en la base del talud, etc.	41
9.	Modelo Hipotético de una Losa tendida y frágil sometida a fuerzas horizontales oblicuas, etc.	46
10.	Con la Localización de la Línea de Análisis Gravimétrico de semidetalle en la Zona Transicional Océano-Contiente. Plano Gravimétrico.	48
11.	Terrenos Tectonoestratigráficos del Sur de México, etc.	60

FIGURA No.	CONTENIDO	PAGINA
12.	Proceso de Marcha Analítica Morfoestructural.	72
13.	Dominios del Análisis Morfoestructural.	75
14.	Relación: No. de Tramos de Entalces-No. de Orden en el ensamblaje submarino-subaéreo del área estudiada, etc.	82
15.	Diagrama del Sistema Analítico.	87
16.	(Plano de 1a) Superficie Real, batimétrica-hipsométrica.	89
17.	(Plano de 1a) Superficie Regional Teórica de 1er. Orden.	92
18.	(Plano de 1a) Superficie Residual de 1er. Orden.	93
19.	(Plano de 1a) Superficie Regional Teórica de 2° Orden.	94
20.	(Plano de 1a) Superficie Residual de 2° Orden.	95
21.	(Plano de 1a) Superficie Regional Teórica de enésimo Orden.	96
22.	(Plano de) Distribución de Intensidad de Rupturas de Pendientes en el Relieve del Dominio Submarino.	99
23.	Histograma de Ruptura de Pendientes.... etc.	101
24.	Sistemas de Orden Jerárquico... etc.	109
25.	(Plano de) Ensamblaje de los Sistemas de Valles Submarinos y Subaéreos... etc.	105
26.	(Plano de) Distribución de Ordenes de los Tramos de los entalces... etc.	111
27.	(Plano de) Configuración de Curvas de Isovalores de Valles... etc.	113
28.	(Plano de) Trazo de los Ejes de altos (+) y bajos (-) valores asociados con estructuras sincliformes y anticliformes respectivamente.	114

FIGURA No.	CONTENIDO	PAGINA
29.	(Plano de) Lineamientos inferidos de la Morfolo <u>gía</u> .	116
30.	Principio de construcción de Curvas de Igual Magnitud	118
31.	(Plano de) Configuración de las Magnitudes en los Sistemas de Entalles suba <u>é</u> reos-submarinos.	119
32.(a)	Tipos Fundamentales de Drenaje.	122
32.(b)	Tipos Fundamentales de Drenaje (Continuación)	123
33.	(Plano de) Distribución de Caracteres Anómalos de la Red de Valles debidos a obstáculos	107
34.	Diagrama de Bloque Interpretativo del Terreno Mexica Submarino.	125
35.	Vista Frontal del Continente desde la Planicie Abisal, etc.	126
36.	Diagrama Tridimensional del Receptáculo para el Terreno Mexica Acrecionario, etc.	127
37.	Elipse de Esfuerzos-Deformación y Ruptura de una Estructura Sometida a un Sistema de Fallas de Torsión, Orientaciones: etc.	141
38.	Modelo de Laboratorio con barro de un Sistema de Fallas de Torsión... etc.	142
39.	(Plano de) Interpretación de la Distribución de los Terrenos Tectonoestratigráficos en la Zona Transicional Continente-Océano.	146
40.	(Plano de) Epicentros Sísmicos Someros...etc.	156
41.	(Plano de) Configuración de Anomalías Magnéticas....etc.	159
42.	Soluciones de los Mecanismos Focales...etc.	161
43.	Plano Sinóptico de Interpretación...etc.	162
"	(en Acetato) Plano de Interpretación, para superposición.	adjunta

GLOSARIO DE TERMINOS USADOS

Anticliforma: Término de la geomorfometría que denota una estructura convexa profunda y que ha sido acusada en la superficie por un sistema de drenaje dispuesto sobre otra estructura suprayacente de relieve bajo. Anticliforme; que es de forma afín o relativa a la anticliforma (cf. Figuras Nos. 27, 28, p. 112).

Cornisa estructural: Escalón tipo terraza, en una ladera formado por la saliente de una capa resistente de posición horizontal o casi horizontal que sobresale debido a la erosión diferencial, (Lugo Hubp, 1989), aquí aplicado, en su aspecto estructural y soterrado para fines interpretativos (cf. p. 43 y 131).

Engolfamiento: Ensenada en la línea de costa que forma una bahía abierta o golfo. Término aquí utilizado con sus connotaciones: fisiográfica, de invasión por el mar y estructural por el relativo hundimiento y depósito.

Entalle: Entallamiento; modelaje debido al corte o disección efectuado sobre las rocas por el efecto de los agentes de la erosión (i.e. gliptogénicos. Ver. gliptogénesis).

- Fractal: Fraccional; progresión geométrica directa o inversa, según el sentido de crecimiento alométrico en un arreglo arborescente (dendrítico) (ver Figura No. 14 y p. 110).
- Gliptogénesis: Acción en conjunto de todos los factores exógenos que influyen en el modelaje fisiográfico de la superficie terrestre.
- Hinterland continental: Término subjetivo que refiere a un terreno no perturbado en la parte posterior de una cadena montañosa. Aquí utilizado para denotar la porción continental relativamente estable después del rift y retirada de un bloque continental. Vgr. Bloque Honduras-Nicaragua a partir del sur de México. (cf. p. 15, 43 y 131).
- Homoclinorium: Serie de capas o estructuras anticlinales y sinclinales con un mismo echado en una sola dirección con los ejes estructurales paralelos y buzantes a su vez en respuesta a un hundimiento subductivo (cf. p. 150).
- Interfluvio: Superficie divisoria que se dispone entre dos laderas de valles contiguas; el término se utiliza para los territorios donde el Interfluvio puede alcanzar una gran extensión. etc. (En, Lugo H., 1989).

Prisma acrecionario: Cuerpo prismático formado por la acumulación secuencial de cuñas o escamas sedimentarias, imbricadas con carácter inverso, puede incluir piezas de la corteza oceánica. (cf. Figuras Nos. 6, 34, 36 y p. 36).

Protonappas: Escamas, o piezas escarapeladas desprendidas de la cobertera sedimentaria de la corteza oceánica (incluyendo partes de ésta) y que se incorporan a la parte inferior, inicial, del prisma acrecionario (cf. p. 61).

Sincliiforma: Término de la geomorfometría que denota una estructura cóncava profunda y que ha sido acusada en la superficie por un sistema de drenaje dispuesto sobre otra estructura suprayacente de relieve alto. Sincliforme; que es de forma afín o relativa a la sincliiforma (cf. Figuras Nos. 27, 28 y p. 112).

Thalweg o Talweg: Línea que une los puntos más bajos de un valle o sistema acanalado. También, sinónimo de vuada o perfil del valle, fondo de un valle (cf. Figura No. 25).

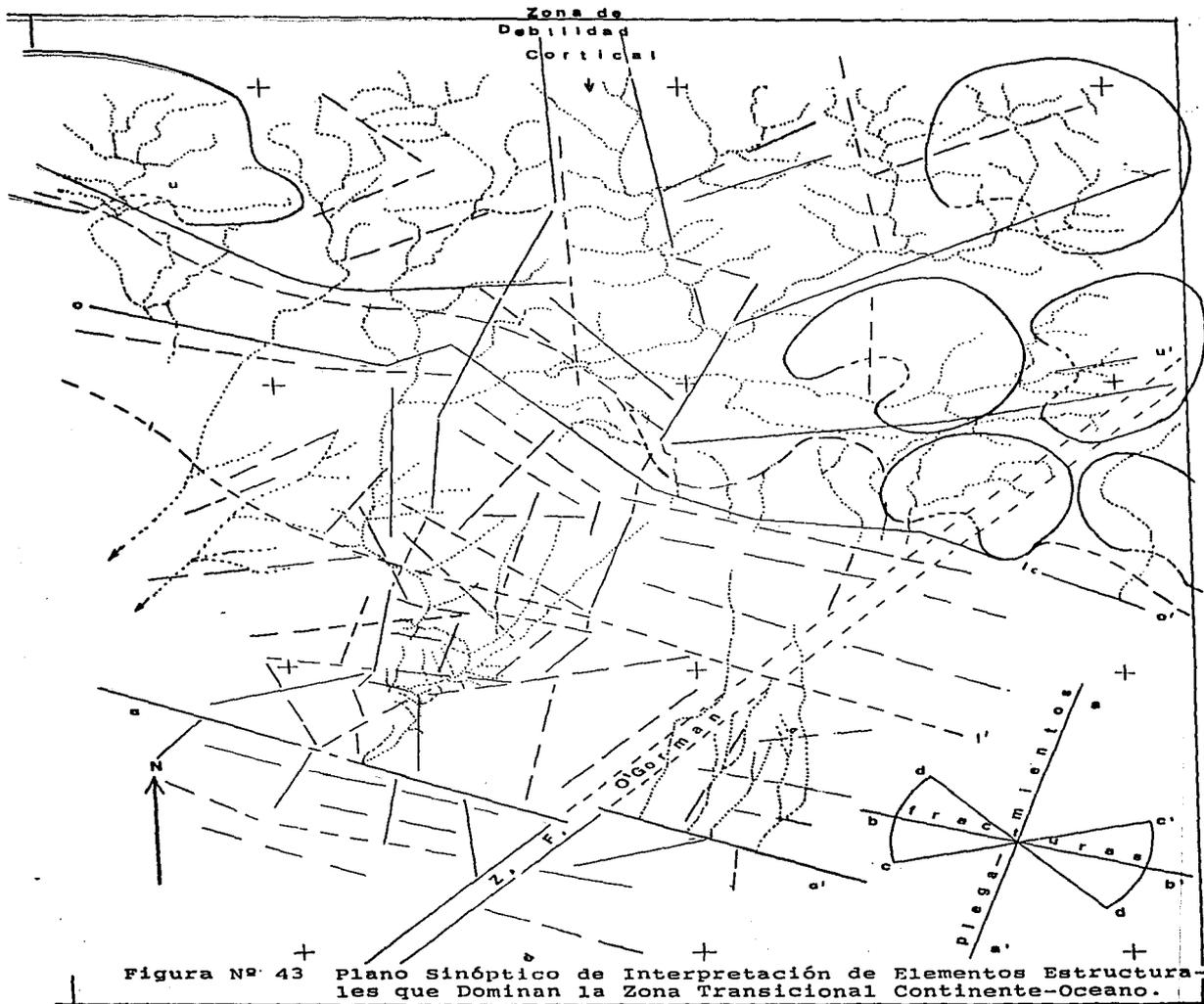


Figura Nº 43 Plano Sinóptico de Interpretación de Elementos Estructurales que Dominan la Zona Transicional Continente-Oceano.

Intrusivos fanerozoicos