

00363
21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios de Posgrado

CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA
PORCION NORESTE DE LA REPUBLICA MEXICANA

T E S I S
Que para obtener el grado académico de
MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOFISICA)

p r e s e n t a
MANUEL HURTADO CARDADOR

DIRECTOR DE TESIS: DR. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

**A mi amada esposa Yolanda Luna Valadez
por su gran cariño, apoyo y comprensión**

**A mis hijos Tania, Omar y Manuel
que son mi motivo de superación**

**A mi madre q.e.p.d.
por su gran amor y apoyo**

**A mi padre
De quien siempre he recibido cariño y apoyo**

**A mis hermanos
Por su cariño y afecto**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo desarrollado para presentarse como tesis para obtener el grado de Maestría, es el resultado de un proyecto solicitado por **Petróleos Mexicanos** al **Instituto Mexicano del Petróleo**, para eliminar los problemas que se presentan al hacer la integración de datos de los prospectos **Gravimétricos** realizados por **PEMEX** desde 1947 a la fecha, los cuales cubren aproximadamente un 60% de la superficie de la República Mexicana y además crear la infraestructura necesaria para apoyar los futuros trabajos de exploración con el método de **Gravimetría**. Cabe mencionar que **PEMEX** tiene programado ligar el total de prospectos gravimétricos terrestres y marinos de su propiedad durante los años subsecuentes con el fin de tener un plano gravimétrico de la República Mexicana referido a una base única para facilitar el manejo de estos datos en procesos e interpretación, además de ligar esta información al Sistema Mundial de Gravedad.

Hago patente mi agradecimiento al **Instituto Mexicano del Petróleo** y a **Petróleos Mexicanos** por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo por conducto de los Ingenieros M. en C. **Hector Palafox Rayón**, Gerente de **Prospección Geofísica**, **Dr. Guillermo Alejandro Pérez Cruz**, Gerente de **Sismología y Modelado Geológico** de la **Subdirección de Tecnología y Desarrollo Profesional de PEMEX Exploración - Producción**, **M. en C. Rodolfo Manines Campos**, Jefe de la Línea en **Delimitación de Yacimientos**, **Manuel Mena Jara**, Investigador del **Instituto de Geofísica de la U.N:A:M**: y **Dr. Jaime Urrutía Fucugauchi**, Investigador y Director del **Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México**, por la dirección de esta tesis y a todos los compañeros y amigos que de alguna manera ayudaron a la terminación de este trabajo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

I. INTRODUCCION

II. ANTECEDENTES

III. OBJETIVOS

IV. GENERALIDADES

IV.1 Anomalia de Bouguer

IV.2 Localización del área de estudio

IV.3 Condiciones establecidas por Petróleos Mexicanos

IV.4 Sistema de coordenadas Lambert

IV.5 Recopilación de información

IV.6 Programa de trabajo

V. MEDICIONES GRAVIMETRICAS Y RED DE BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES

V.1 Corrimiento del valor de gravedad y establecimiento de las bases gravimétricas permanentes (BGP)

V.2 Bases gravimétricas de los prospectos y liga de los mismos

V.3 Cálculo de las constantes de corrimiento

V.4 Estaciones del Sistema Informativo Latinoamericano de Gravedad (SILAG)

V.5 Equipo utilizado

VI. PROCESADO Y ANALISIS DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS

VI.1 Procesamiento de los datos gravimétricos

VI.2 Elaboración de planos corregidos

VII. RESULTADOS

VIII. CONCLUSIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

R E S U M E N

Desde mediados del siglo pasado a la fecha, los estudios de gravimetría han ocupado un lugar relevante en las investigaciones geofísicas y geodésicas, así como en la búsqueda de recursos naturales no renovables que cada vez se hacen más difíciles de localizar, por lo que en la actualidad se hace necesario contar con datos gravimétricos precisos y de alta calidad que permitan evaluar con mayor precisión estructuras geológicas relacionadas con la ocurrencia de yacimientos de hidrocarburos, principal objetivo de Petróleos Mexicanos.

En este trabajo de investigación se desarrolló el método para determinar las diferencias de los valores de gravedad de 43 prospectos gravimétricos propiedad de Petróleos mexicanos que cubren la Porción NE de la República Mexicana, para referenciarlos a una base gravimétrica común, con el objeto de eliminar los problemas de gradientes y anomalías ficticias producidas en los límites y empalmes de los prospectos gravimétricos cuando se integran para estudiar, interpretar ó analizar grandes áreas, este efecto se produce por las diferentes estaciones gravimétricas de referencia con que cada prospecto se observó.

El segundo objetivo fue el establecimiento de una red de estaciones base gravimétricas permanentes (BGP), referidas a una base común, en cuatro polígonos regionales que cubren los estados de Veracruz, Tamaulipas, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, para apoyar la

liga de las estaciones base de cada uno de los prospectos gravimétricos que se encuentran en la vecindad de estos polígonos. Estas estaciones BGP, se colocaron en lugares estratégicos como monumentos, iglesias, cruce de carreteras, etc., para asegurar su permanencia y evitar en lo posible su destrucción.

La base gravimétrica que se decidió utilizar como datum común es la establecida en la Ciudad de Poza Rica, Ver., durante el corrimiento de gravedad que Petróleos Mexicanos realizó en el año de 1990 para la denominada Zona Centro y cuya base de arranque a su vez fue la estación SILAG (Sistema Informativo Latinoamericano de Gravedad) ubicada en el Observatorio de Tacubaya en México, D.F.

Las observaciones del valor de gravedad en las estaciones de los polígonos regionales de control, referenciados a una base gravimétrica cuyo valor de gravedad ha sido previamente establecido se denominan en este trabajo "Corrimiento del valor de gravedad", designación adoptada para ser congruentes con los trabajos anteriores realizados por Petróleos Mexicanos.

Se desarrollaron las técnicas para manejar la información de los prospectos antiguos de PEMEX que carecen de informe final y no cuentan con croquis de localización de sus respectivas estaciones base, lo cual hace difícil su localización en campo, aún cuando se utilice un equipo de posicionamiento por satélite apropiado (GPS).

Como producto final de esta investigación se tiene la información gravimétrica de los prospectos de Petróleos Mexicanos de la Zona Centro y la Porción NE de la República Mexicana referenciada a una base común, que a su vez forma parte del Sistema Mundial de Gravedad, lo cual uniformiza y facilita los trabajos de proceso e interpretación, así como una red de estaciones base gravimétricas permanentes para apoyar la exploración de recursos minerales, energéticos y las investigaciones geofísicas y geodésicas que permitan conocer las estructuras de la corteza y litosfera de nuestro planeta.

Debido al éxito obtenido en esta investigación, los trabajos de corrimiento de bases gravimétricas a la fecha continúan en el Instituto Mexicano del Petróleo como uno de los principales proyectos para Petróleos Mexicanos, con el fin de normalizar los 295 prospectos gravimétricos de PEMEX que cubren aproximadamente el 60% del territorio Nacional.

I INTRODUCCION

Desde mediados del siglo pasado a la fecha, los estudios de Gravimetría han ocupado un lugar relevante en las investigaciones Geofísicas y Geodésicas, así como en la búsqueda de recursos naturales no renovables.

Las determinaciones puntuales del valor de gravedad o estaciones gravimétricas, no han obedecido a normas generales, sino que al ser realizadas para satisfacer propósitos bien establecidos de acuerdo a las necesidades y facilidades del grupo o institución que las produce, se han utilizado instrumentos diferentes y controles horizontales y verticales arbitrarios; encontrándose en la actualidad toda la información gravimétrica distribuida en diferentes instituciones nacionales o extranjeras tales como Petróleos Mexicanos, Consejo de Recursos Minerales, Instituto de Geofísica de la U.N.A.M., Instituto de Oceanografía de Manzanillo, Servicio Geodésico Interamericano, Universidad de Texas, Universidad de Hawai, etc. La falta de una compilación de esa información y su reducción a un marco de referencia, origina que en muchas ocasiones exista duplicidad de trabajos con la consiguiente pérdida de tiempo, dinero y esfuerzo, además de generar serios problemas cuando se intenta hacer la integración de esta información.

En nuestro país **Petróleos Mexicanos** es el principal productor de información gravimétrica, sus levantamientos cubren más del 60% del territorio nacional como se observa en la **Fig. 1**, donde se muestra la ubicación de los 265 prospectos

PROSPECTOS GRAVIMETRICOS

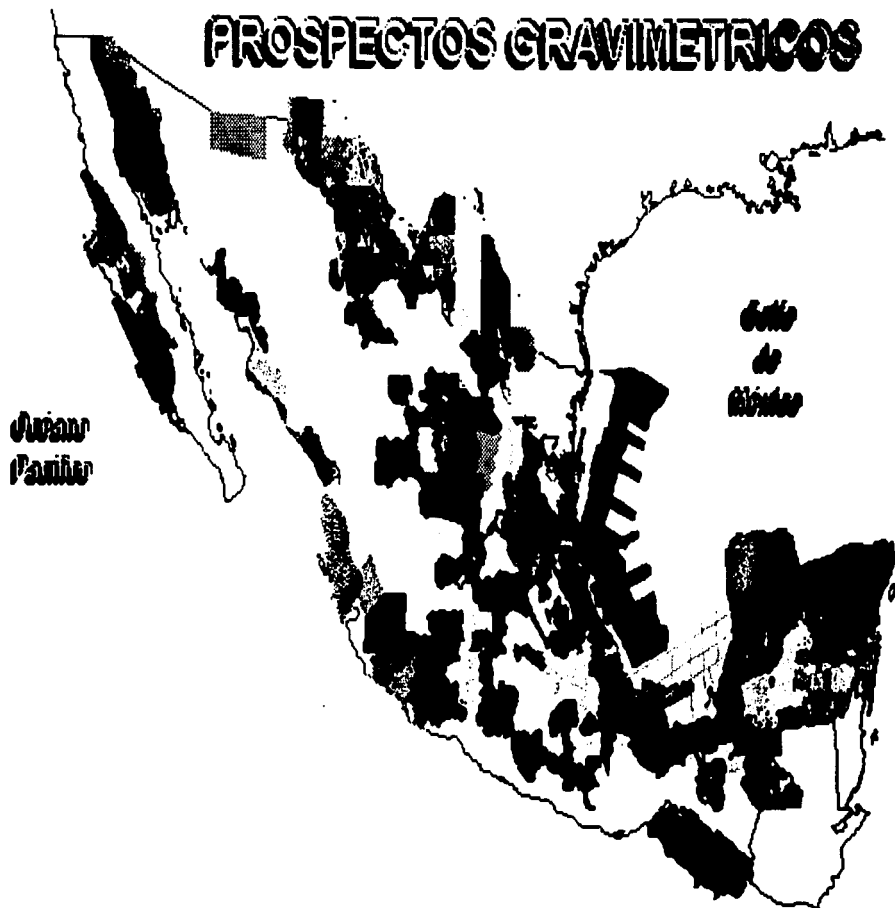


Fig. 1 .- prospectos gravimétricos de PEMEX en la República Mexicana

gravimétricos en la República Mexicana, cada uno con diferentes tonos de color. Sin embargo, gran parte de esta información originalmente tuvo que ser reprocesada por no encontrarse disponible de una manera uniforme, debido a que presenta uno o más de los siguientes problemas:

- **El levantamiento fue referido a una base gravimétrica arbitraria**
- **El control vertical de las estaciones se estableció a partir de una cota arbitraria**
- **El control horizontal parte de mapas con coordenadas locales**
- **Se cuenta solamente con los planos de Anomalía de Bouguer**
- **Se trata de información proveniente de levantamientos gravimétricos aéreos y marinos que requieren de un proceso especial para ser incorporados a cualquier plano integrado con otros datos gravimétricos**

Para resolver los problemas mencionados, **Petróleos Mexicanos** desde 1986 inició proyectos de gravimetría con el **Instituto Mexicano del Petróleo** en los cuales se contempla la recopilación, codificación, captura y depuración de los datos gravimétricos de todos los prospectos que **PEMEX** realizó desde 1947, aunque existen trabajos gravimétricos mas antiguos, no se consideraron lo suficientemente confiables, por lo que se descartaron para su posible inclusión en la base de datos.

A la fecha se han tenido avances considerables en la creación de una base de datos gravimétricos denominada **BASEGRA** elaborada en el **Instituto Mexicano del Petróleo** que ha creado la infraestructura necesaria para solucionar la mayoría de los problemas mencionados, quedando sólo el problema de ajustar los valores de gravedad de los prospectos de la porción Noreste y Sur de la República Mexicana para referirlos a una base común.

El presente trabajo presenta la metodología que se desarrolló para referir 43 prospectos de la porción NE de la República Mexicana a una base común y el establecimiento durante el año 1995 de una red de Estaciones Gravimétricas Permanentes (BGP) para apoyar la liga de los prospectos gravimétricos mencionados, además de mostrar las diferentes etapas que contemplan la recopilación de información, trabajos de campo, procesos, graficación de los datos sin corregir y resultados después de aplicar la constante de corrimiento determinada en las mediciones de campo.

La presentación de los resultados muestra el éxito obtenido al aplicar la metodología desarrollada para resolver el problema tan añejo que tienen los prospectos gravimétricos de PEMEX que se observaron con diferentes bases gravimétricas de referencia y que al integrarse para interpretar o analizar grandes áreas, se generan gradientes en los límites de los prospectos que no corresponden a efectos producidos por estructuras geológicas en el subsuelo. Una situación más grave se presenta cuando hay empalme de información de uno o más prospectos en determinadas áreas ya que se generan anomalías ficticias similares a las producidas por rocas de origen volcánico, de tal manera que si no se tiene el suficiente cuidado al manejar esta información se puede llevar a interpretaciones erróneas.

El producto final de este trabajo de investigación son los datos de 43 prospectos gravimétricos que cubren la Región NE de la República Mexicana normalizados a un marco de referencia común así como una red de Estaciones Base Gravimétricas Permanentes referenciadas a una base del Sistema Latinoamericano de Gravedad (SILAG) e (IGSN71) que a su vez forma parte del Sistema Mundial de Gravedad, lo cual implica que se cuenta con un nivel de referencia preciso y bien documentado que sirve como base para las investigaciones gravimétricas y futuros proyectos de exploración

II ANTECEDENTES

El primer trabajo gravimétrico realizado en México está representado por 85 estaciones gravimétricas pendulares establecidas entre 1912 y 1946 bajo el auspicio del Departamento de Geografía del Ministerio de Agricultura y Fomento (Historia de la gravimetría en México, Monges J. et al). Estos resultados fueron reportados por Alfonso de la O. Carreño en 1949, donde todos los valores se refirieron al valor de **Postdam Alemania (Instituto Geodésico)** y al valor de **Tacubaya (978.941 gales)** establecido en 1912, ligándolo directamente de la **Base Gravimétrica Nacional de los Estados Unidos en Washington, D.C.**, De la O. Carreño también reporta los valores de 52 estaciones establecidas por **Petróleos Mexicanos** cuya precisión se presumía de **0.05 miligales**. La realidad es que dicha precisión era cercana a ± 5.0 miligales en promedio para los valores de las estaciones pendulares ya que nuevas mediciones en estas estaciones demostraron esta última precisión, además de que tales observaciones estaban referidas a un datum flotante que cambiaba de valor con el área estudiada y aún dentro de una misma área dada por lo que esta información se consideró no confiable para los fines perseguidos.

En 1948, bajo la dirección del Dr. G.P. Woollard, Director del **Instituto de Geofísica de la Universidad de Wisconsin** y auspiciada por la **Oficina Naval de Investigaciones (U.S.A)**, se inició un plan básico mundial de investigaciones gravimétricas que tenía como fin los siguientes objetivos:

- a) **El establecimiento de enlaces entre las principales Bases Nacionales que fueran fácilmente accesibles**

- b) El establecimiento de una línea base de Estaciones Gravimétricas alrededor del mundo**
- c) El establecimiento de Redes de Bases en cada continente que a su vez se enlazaran con la línea base mundial**
- d) El establecimiento de enlace entre levantamientos gravimétricos regionales y locales hechos por otros grupos**

Se esperaba que a través de estas redes de control de estaciones interconectadas, fuera posible ajustar todas las observaciones gravimétricas del mundo incluyendo las de México a un datum común, que debería facilitar el uso de estos datos para varios propósitos, entre otros, Geodésicos y Geofísicos. Durante el desarrollo de este proyecto se presentaron grandes problemas técnicos que redujeron substancialmente los objetivos que se plantearon en un principio, pero a pesar de ésto, se logró establecer un circuito básico de estaciones gravimétricas alrededor del mundo localizadas principalmente en Norte América, Europa, Asia y Africa, sin considerar a México en esta primera etapa.

En 1949, Norman Harding extendió las mediciones a Sudamérica, América Central y Alaska, iniciando en el verano de ese año los trabajos en la República Mexicana con el gravímetro de reciente desarrollo Worden 10C; era la primera vez que se hacía una conexión internacional con este tipo de gravímetro. Además de tomar lecturas en donde se habían establecido las estaciones pendulares de Tacubaya, hizo mediciones en el perfil que va de Acapulco, Gro. a Tuxpan, Ver., en lugares localizados a lo largo de las carreteras a dichos puertos, haciendo un total de 67 estaciones. Además se hicieron conexiones de Washington, D.C a Houston, Texas

y Panamá que posteriormente sirvieron como puntos básicos de control para las observaciones con péndulo y gravímetro que se hicieron en México, Centroamérica y Sudamérica.

Al terminarse el circuito básico mundial se hizo una comparación de los valores preliminares obtenidos, observando que había una diferencia sistemática que aparentemente estaba relacionada a errores de calibración de los instrumentos usados; se encontraron diferencias en calibración hasta 3 partes en mil, debidas tal vez a la linealidad de los gravímetros Worden entre el tornillo y el resorte. Otras discrepancias como la deriva, método de cierre, etc., presentaron problemas de menor importancia. Este mismo problema se encontró con la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes instrumentos usados en la realización de este programa. Para tratar de establecer porqué había discrepancias de calibración tan grandes, los gravímetros usados fueron calibrados contra buenos datos pendulares en varias partes del mundo y se encontraron diferencias tan grandes como de 5 partes por 100.

Dado que valores extremos fueron obtenidos sobre la misma porción de la escala del gravímetro y sobre el mismo rango, se sospechó que la fuente de error estaba en los datos pendulares por lo que se decidió establecer un sistema de calibración, digno de confianza. Para hacer esto factible, se planeó y se llevó a cabo la observación en una serie de estaciones gravimétricas y pendulares entre Fairbanks, Alaska, U.S.A. y México, D.F., debido a que entre estas estaciones hay un cambio de gravedad de alrededor de 500 miligales (Línea de Calibración Americana), además todas las poblaciones donde se ubican estaciones pendulares hay aeropuertos y se encuentran bien comunicadas por carretera.

Estos trabajos comenzaron en 1950, con mediciones gravimétricas haciendo

conexiones entre Houston, Balboa, México, D.F. y Washington, D.C. con 2 gravímetros Worden modelos 10C y 14 C. En 1951, se estableció una serie de estaciones pendulares con el péndulo de cuarzo de la **Gulf Research and Development Co.**, entre Fairbanks, Alaska, Cheyenne, Wyoming, Houston, Texas, Nuevo Laredo, Tams., Monterrey, N.L., Tamazunchale, S.L.P. y Tacubaya, Cd. de México. Estos trabajos se hicieron bajo el auspicio del **Air Force Cambridge Research Laboratory**.

En este mismo año bajo el patrocinio de la **Office of Naval Research** de los Estados Unidos se hicieron 2 conexiones de Panamá a Washington D. C. usando un gravímetro Geodésico Worden Modelo 10C.

Este programa fue complementado en 1952 con una red gravimétrica establecida en los principales aeropuertos, usando como transporte los vuelos comerciales que interconectaban todos los principales aeropuertos de México. También en este año el **Dominion Observatory of Canada**, utilizando el péndulo Cambridge de Inglaterra, hizo interconexiones entre las ciudades de México, Monterrey, Houston, Washington y Ottawa.

En 1953, se hizo una segunda serie de mediciones con el péndulo Gulf en San Antonio, Houston, Laredo, Monterrey, Tamazunchale, Jacala, Ixmiquilpan, El Zarco, Chapulhuacán, Ciudad de México y Paso de Cortés. Estas observaciones se complementaron con mediciones hechas con gravímetro y fueron reportadas por Woollard y Rose en (1962).

En 1954, el Ing. Julio Monges trabajó en conjunto con el **Inter-American Geodetic Survey (IAGS)** en una serie de observaciones con gravímetro a lo largo de líneas establecidas por el IAGS en el Istmo de Tehuantepec. En 1955, se hizo un recorrido

en la costa Oeste de México a California, ligándose además a la red varios prospectos mineros usando como transporte avionetas.

Durante el año Geofísico Internacional se hizo una segunda serie de mediciones con el péndulo Cambridge (Inglaterra) desde México hasta Sudamérica. En 1961, el Ing. Julio Monges del Instituto de Geofísica repitió las mediciones en la red de estaciones gravimétricas usando 2 gravímetros Lacoste & Romberg con lo que se reforzó el control básico de la red en México.

En 1955, se tiene el primer intento para compilar un mapa gravimétrico de México utilizando principalmente información de Petróleos Mexicanos (Woollard and Monges 1956), aunque realmente no se pudo avanzar mucho en ese sentido, por causas diversas, sólo se pudo hacer la compilación de muy poca información; fue hasta 1963 que con recursos del National Science Foundation se inició un programa para establecer un control que permitiera evaluar y ajustar los datos gravimétricos de Petróleos Mexicanos. Previamente a estos trabajos, en 1960, se hizo una tercer serie de observaciones con el péndulo Gulf bajo los auspicios del Air Force 1381 Geodetic Squadron entre Point Barrow, Alaska y Paso de Cortés. En este proyecto se estableció una nueva estación base pendular en San Luis Potosí.

En los años 1961-62, se estableció una Red Gravimétrica Mexicana en los principales aeropuertos de México por Julio Monges Caldera, utilizando gravímetros La Coste & Romberg, modelos 11 y 19 bajo un programa de cooperación entre el Inter-American Geodetic Survey y el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (Red de estaciones gravimétricas básicas en la República Mexicana, Monges J. C., Anales de Geofísica, Vol. 11, 1966). La calibración se hizo ajustando los valores en las estaciones medidas con péndulos Gulf en México, D.F., Ixmiquilpan, Hgo., Jacala, Hgo., Chapulhuacán, Hgo.,

Tamazunchale, S.L.P., Monterrey, N.L. y Nuevo Laredo, Tamaulipas. Este trabajo, representó en su época la red más confiable de estaciones establecidas en México con 49 bases distribuidas en todo el país como se muestra en la Fig. 2. Esta red estuvo usándose satisfactoriamente hasta 1969, año en que el Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. en colaboración con el Servicio Geodésico Inter-Americano y el U.S.A. Topographic Command (USATOPOCOM) iniciaron el establecimiento de una nueva red de estaciones gravimétricas para complementar la red de estaciones básicas que se habían establecido en 1962, debido a que se consideró que eran insuficientes por la gran extensión de nuestro territorio y por tanto era necesario densificar las estaciones, sobre todo en la parte montañosa donde hay grandes cambios de la gravedad y pocas vías de comunicación. Para este trabajo se utilizaron gravímetros La Coste & Romberg, números G-130 y G-115; este último había sido calibrado en la "Línea de Calibración Americana". El medio de transporte utilizado fueron avionetas Cessna con los que se hicieron 120 circuitos con un total de 166 estaciones que abarcan desde la frontera de E.U.A. hasta el paralelo 21 incluyendo en las observaciones, toda la Península de Baja California.

Para los valores de gravedad se tomaron como base, tres estaciones de la Red Nacional de Bases Gravimétricas de E.U.A. (USNGBN) que se encuentran en los Aeropuertos de El Paso, Los Angeles y Phoenix. Los cálculos y los ajustes fueron hechos por USATOPOCOM utilizando una computadora UNIVAC-1108 con un programa denominado GRASS que ajustó la red por el método de mínimos cuadrados incluyendo las correcciones de marea terrestre y deriva instrumental. Esta red fue establecida con los estándares mundiales y esta referida como se comentó, a estaciones de primer orden de la red mundial, manteniéndose vigente por su confiabilidad, al grado que en el año de 1971, la mayoría de estas estaciones se integraron a la Red Internacional de Normalización de la Gravedad (IGSN71).

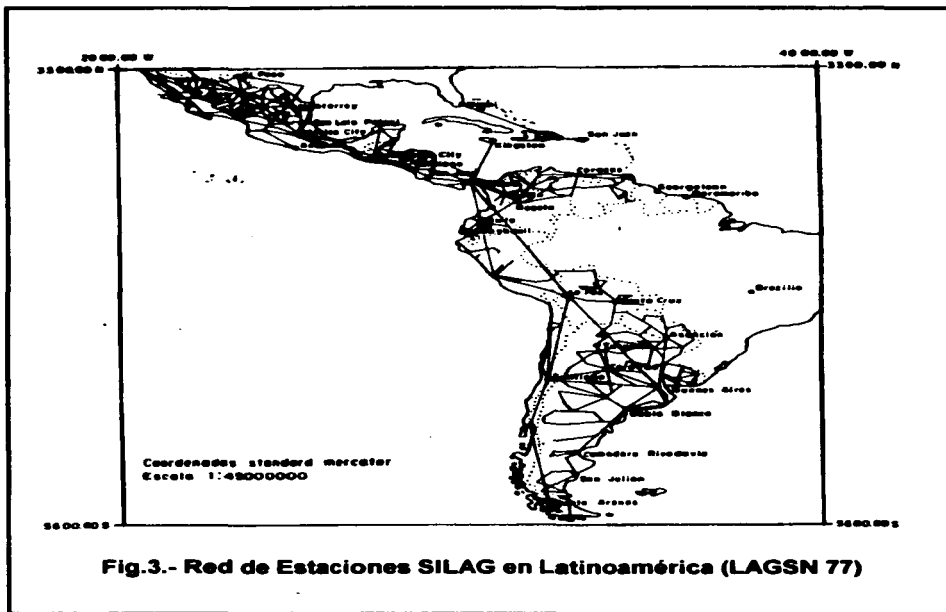


En 1977 se estableció la Red Latinoamericana de Normalización de la Gravedad (RELANG77) bajo los auspicios del grupo de trabajo denominado Sistema Informativo Latinoamericano de Gravedad (SILAG) de la Comisión de Geofísica del Instituto Panamericano de Geofísica e Historia y ha sido adoptado como referencia normalizada de gravedad para América Latina, de acuerdo a los términos de la Resolución No. 13 en Agosto de 1977, en la Reunión de la Comisión que se llevó a cabo en Quito, Ecuador.

La **RELANG77** consiste en 956 estaciones de referencia internacionales por 4475 mediciones gravimétricas en toda Latinoamérica, incluidas las estaciones del sistema **IGSN71** que se efectuaron entre los años 1962 y 1976 por varias agencias que trabajaron en cooperación con el **Servicio Geodésico Interamericano (IACS)** el cual coordinó y consolidó las notas de trabajo en borrador, diagramas y fotografías de cada Red Nacional que posteriormente fueron enviadas al **Earth Physics Branch (EPB)** que hizo el ajuste, la compilación, la reducción y la edición final de estos datos. Como resultado de este nuevo ajuste, los valores de gravedad de **RELANG77**, en las estaciones de la **IGSN71** son en algunos casos ligeramente diferentes pero se considera adecuado adoptar estos nuevos valores que se encuentran en las publicaciones correspondientes, la distribución de estas estaciones se muestra en la **Fig. 3**.

Cabe mencionar que existen evidencias de variaciones seculares en el valor de gravedad de algunas estaciones **IGSN71** que de acuerdo al detalle del trabajo de investigación o exploración a desarrollar se debe tomar en cuenta para evitar posibles errores.

Algunos autores han hecho referencia a cambios en los valores de gravedad en estaciones pendulares en México tales como Woollard et al, 1969 en un trabajo denominado "**A REGIONAL GRAVITY SURVEY OF NORTHERN MEXICO AND THE RELATION OF BOUGUER ANOMALIES TO REGIONAL GEOLOGY AND ELEVATION IN MEXICO**" donde se mencionan algunas evidencias de cambios seculares en los valores de gravedad ocurridos en los períodos de 1953-1966 sobre las estaciones pendulares que se ubican sobre la línea de estandarización de Gravedad de Norteamérica (**NORTH AMERICAN GRAVITY STANDARIZACION RANGE**) entre Point Barrow, Alaska, Paso de Cortés y México, D.F. Estos trabajos se hicieron utilizando gravímetros LaCoste & Romberg.



En 1979, S. Krishna Singh, Manuel Mena y Julio Monges Caldera en un trabajo sobre la variación secular de gravedad en México, denominado "**SECULAR VARIATION OF GRAVITY IN MEXICO?**", hicieron el análisis de los datos gravimétricos obtenidos en el período de 1953-1967 y 1971-1978, llegando a las siguientes conclusiones:

- a) La estación IGSN71 de Monterrey, N.L. parece estable respecto a la estación IGSN71 en Madison, Wisconsin. El valor de gravedad en la estación de la UNAM en México, D.F. tiene un decremento promedio de **0.037 miligal/año** respecto a la estación de Monterrey, por lo que se infiere que el bloque cortical al

Sur de Monterrey parece levantarse respecto al bloque cortical al norte de Monterrey.

- b) Para verificar si el movimiento mencionado anteriormente se extiende hacia el Sur, el perfil de estaciones entre la Ciudad de México y Acapulco originalmente establecida en 1949, fue repetida en 1961 y 1967 por Woollard y Monges. El resultado de estas observaciones mostraron un incremento de gravedad en Acapulco de **0.071 miligal/año** entre 1947 y 1961. Entre 1961 y 1967 se detectó un salto de gravedad en Acapulco, quizá debido a movimientos sísmicos locales.

La mayor variación de gravedad fue en la porción de la línea entre Chilpancingo y Acapulco Gro., pero debido a que no existe evidencia geológica de una falla activa entre dichas poblaciones, además la variación en los valores de gravedad que implicarían un desplazamiento vertical no son explicables con los movimientos sísmicos durante el período 1967-1974 y la no existencia de variación secular significativa durante el período 1971-1978, se cree que los datos de gravedad obtenidos durante el período de 1947-1967 **no son confiables** por lo que la conclusión final es que la variación obtenida en este último período pudo ser producida por problemas de calibración en los gravímetros utilizados y por la resolución de los mismos.

- c) Se observó una variación secular de gravedad en la ciudad de México. La gravedad cercana al centro de la ciudad (Hotel Genova) se incrementó **0.06 miligal/año** respecto a la estación del Observatorio de Tacubaya.

El área donde se encuentra el Observatorio de Tacubaya se ubica sobre una capa rocosa, mientras que la mayor parte de la ciudad de México se encuentra sobre sedimentos lacustres, por lo que se infiere que el incremento del valor de

gravedad es producido por el hundimiento de la ciudad debido a la extracción del agua del subsuelo y a la consecuente compactación de los sedimentos, de tal manera que esta variación secular en el valor de gravedad en la ciudad de México es real.

Para el desarrollo del presente trabajo no se consideró muy importante tomar en cuenta esta variación secular, primeramente debido a que los trabajos de exploración de PEMEX son de carácter regional y una variación tan pequeña no afecta de ninguna manera los resultados finales. En segundo término la **Base Gravimétrica Permanente BGP-XIII** establecida por Petróleos Mexicanos en Poza Rica en el año de 1990, es la estación que se utilizó como referencia común por razones estratégicas que se mencionan en los objetivos (esta estación **BGP** a su vez está referida a la estación **SILAG** de Tacubaya). En tercer término se supone que por la posición en que se ubica esta estación, la posible existencia de alguna variación secular sería mínima.

En México la **Red Latinoamericana de Normalización de la Gravedad 1977 (RELANG77)** en la que están incluidas las estaciones **IGSN71** es mayormente conocida como sistema **SILAG** (Sistema Informativo Latinoamericano de Gravedad) desde su establecimiento se ha considerado como el sistema de referencia de gravedad más confiable hasta la fecha por lo que ha sido adoptado como referencia para los trabajos de exploración e investigación que realizan diversas dependencias en nuestro país tales como el Consejo de Recursos Minerales, Instituto de Geofísica (UNAM), Instituto Mexicano del Petróleo y Petróleos Mexicanos. En la **Fig. 4** se muestra la red actual de estaciones **SILAG** distribuidas en México.

Algunos trabajos de investigación se han dirigido a tratar de elaborar el plano gravimétrico e la República Mexicana como el que se pretende obtener en el

presente proyecto al finalizar el corrimiento del valor de gravedad en la Porción Sur y Noroeste de la República Mexicana en los dos años subsecuentes.

Los proyectos previos de investigación más importantes para la elaboración de la carta gravimétrica de la República Mexicana son los siguientes:

En 1980, Manuel Mena et al publicaron el artículo "Avances en la elaboración de la carta gravimétrica para la porción Meridional de la República Mexicana " en el que se vislumbran las dificultades que se tienen para compilar y procesar la información gravimétrica que se encuentra distribuida en las diversas dependencias de nuestro país.



En 1987, el comité formado por investigadores de Canadá, Estados Unidos, México

y Centroamérica denominado "The Committee for the Gravity Anomaly of North America" entre cuyos miembros se encuentran De la Fuente M. y Aiken L. V. publicaron un mapa gravimétrico de carácter muy regional que cubre desde Alaska hasta Panamá llamado "Gravity Anomaly Map of North America". La elaboración de este plano fue dirigida por J.G. Tanner del Geological Survey of Canada, primeramente fue patrocinado por The Society of Exploration Geophysicists y posteriormente por The Geological Society of America and The International Gravity Commission of the International Association of Geodesy.

Para la generación de este plano se compilaron 1,869,000 mediciones gravimétricas terrestres, marinas y de satélite propiedad de diversas dependencias y universidades de Canadá, Estados Unidos, México y Centroamérica. Los cálculos de las anomalías gravimétricas están basados en el sistema de referencia geodésico de 1967 (GRS67) y en la Red Internacional de Normalización de gravedad de 1971 (IGSN71). La liga de los datos gravimétricos de las diversas fuentes se hizo con métodos estadísticos y la Anomalía de Bouguer se calculó usando un valor de densidad de 2.67 gr/cm^3 . El esferoide de referencia utilizado fué el de Clark 1866 y la proyección cónica conforme Lambert. La integración de los datos terrestres y marinos se hizo con una retícula de $3 \times 3 \text{ Km}$. y los datos de satélite con una retícula de $6 \times 6 \text{ Km}$. El error estimado en las mediciones es de ± 8 miligales para los datos de satélite y para los datos terrestres y marinos de ± 5 miligales.

En 1990, Petróleos Mexicanos hizo el corrimiento de gravedad en la Porción Central de la República Mexicana durante el cual se estableció una red de estaciones base gravimétricas permanentes (BGP) propia, referida a la estación SILAG (04699D)

ubicada en el Observatorio Nacional de Tacubaya en la Ciudad de México, D.F.

En 1991, De la Fuente M., Mena M., Aiken L. V. publicaron una carta gravimétrica de la República Mexicana elaborada con datos gravimétricos de Petróleos Mexicanos, Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática, Universidad Nacional Autónoma de México, Geociencias Aplicadas Consejo de Recursos Minerales, Instituto Oceanográfico de Manzanillo, University of Texas at Dallas, United States Geological Survey, Oregon State University y The Committee for the Gravity Anomaly Map of North America, con parámetros y referencias iguales al plano gravimétrico de Norteamérica.

En 1993, la Compañía Mexicana de Geofísica contratada por Petróleos Mexicanos hizo un corrimiento de gravedad para normalizar algunos prospectos de los estados de Oaxaca y Guerrero utilizando como referencia la estación SILAG del aeropuerto de Oaxaca, Oax.

Como se puede observar no ha sido fácil llegar a establecer una red de estaciones gravimétricas lo suficientemente confiable, precisa y bien documentada. Actualmente la red de estaciones SILAG es la que se considera más confiable, aunque una gran cantidad de estas estaciones esta completamente destruida y es muy difícil la localización del punto donde estuvieron colocadas ya que estos sitios están totalmente cambiados. Aunado a estas condiciones se encontraron diferencias entre 0.1 a 0.25 miligales en los valores de gravedad de estas estaciones en mediciones hechas durante el desarrollo de este proyecto con el gravímetro SCINTREX modelo CG3 de reciente tecnología. Por este motivo se decidió utilizar una sola base SILAG como referencia (datum común) para este trabajo de investigación con el fin de asegurar valores de gravedad más confiables a la nueva red de estaciones gravimétricas permanentes de Petróleos Mexicanos establecida por el Instituto Mexicano del Petróleo.

III OBJETIVOS

- A) El principal objetivo de este proyecto fue el de referir a un datum común los prospectos gravimétricos de Petróleos Mexicanos que cubren la porción NE de la República Mexicana para eliminar los efectos de gradientes o anomalías ficticias que se generan en los límites o empalmes de los prospectos cuando se integran, para analizar o interpretar grandes áreas. Este problema se genera debido a las diferentes estaciones gravimétricas de referencia con que cada prospecto se observó. De acuerdo a la condición de referir todos los prospectos gravimétricos a una sola base la Anomalia de Bouguer se tendría uniformizada y se facilitaría el manejo de esta información en la base de datos gravimétricos del Instituto Mexicano del Petróleo, denominada BASEGRA.**

Por cuestiones estratégicas el datum común que se determinó adoptar, en conjunto con personal de Petróleos Mexicanos, es la estación **BGP-XIII** con un valor de gravedad $g = 976650.15$ miligales la cual se estableció en la ciudad de Poza Rica dentro de las instalaciones de **PEMEX** durante el corrimiento de gravedad que se hizo en el año de 1990 para la **Zona Centro (Ex-Zona Poza Rica)**. Esta base, a su vez tuvo como punto de partida la estación **SILAG (04699A)** que se encuentra en el Observatorio de Tacubaya en la Ciudad de México cuyo valor de gravedad es $g = 977927.15$ miligales. Estas dos estaciones están referidas al sistema mundial de gravedad y su localización se muestra en las Figs. 5 y 6.

La decisión de utilizar la **BGP-XIII** como estación de arranque para este proyecto, tiene como fin que los prospectos de la **Zona Centro** previamente normalizados, queden automáticamente ajustados a los prospectos de la porción NE de la República Mexicana, aprovechando además algunas de las estaciones **BGP** ya establecidas para ligarlas a las estaciones de los polígonos propuestos en el presente trabajo.

NUMERO DE ESTACION BGP XIII		NOMBRE DE ESTACION BGP XII	
LOCALIDAD	POZA RICA	φ	λ
ESTADO	VERACRUZ	Z	FUENTE
FECHA	OCTUBRE DE 1990	X	Y
GRAVEDAD OBSERVADA : 978650.15 mg		ZONA	

ITINERARIO DESCRIPCION DE MARCA :

La BGP XIII se localiza en la explanada frente al edificio de las oficinas de la Gerencia de Petróleos Mexicanos debajo de la segunda "S" del letrero metálico PETROLEOS MEXICANOS.

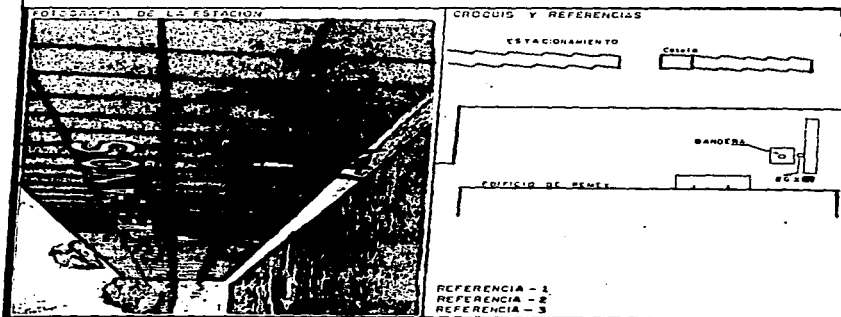
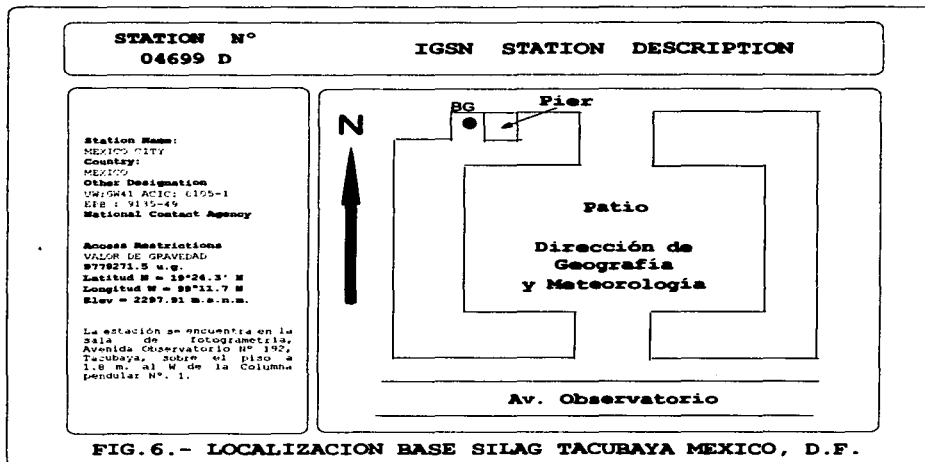
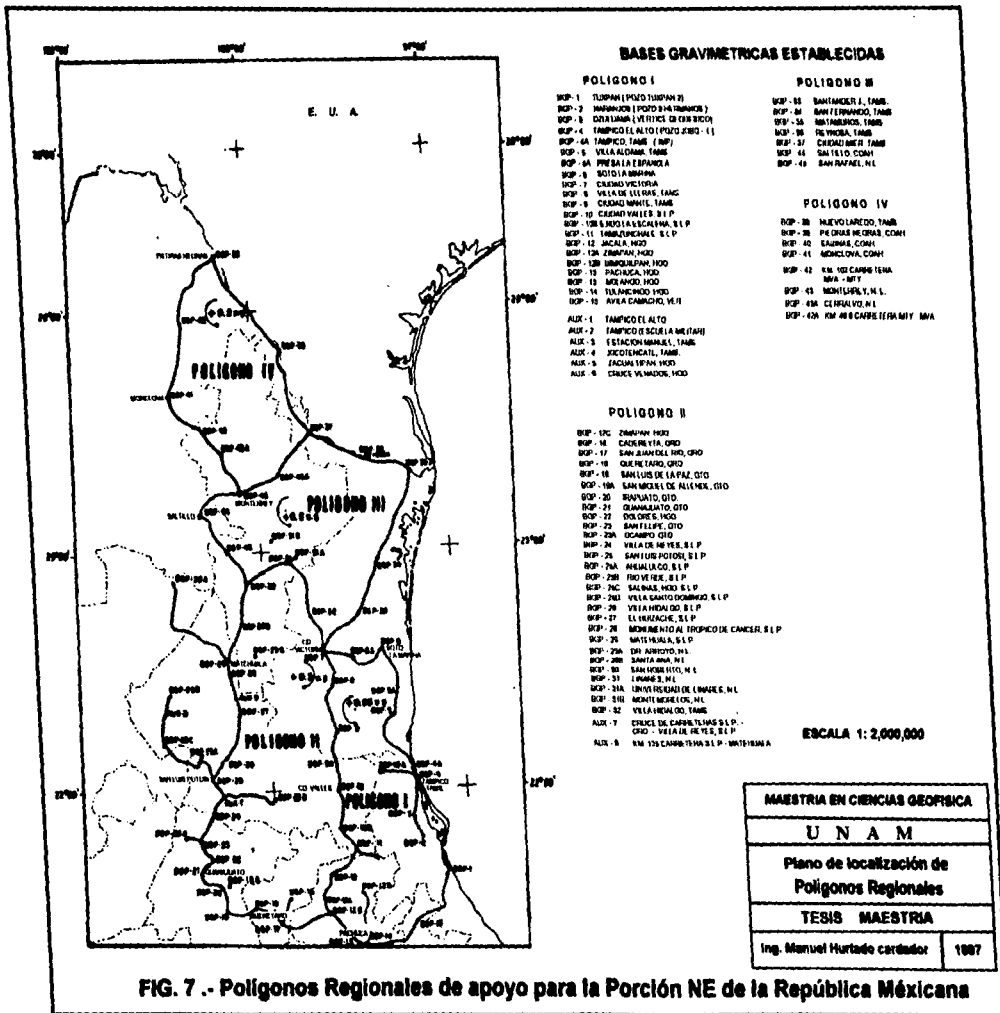


FIG. 5.- Estación base gravimétrica BGP-XIII en Poza Rica, Ver.



- B)** Como segundo objetivo se programó el establecimiento de una red de estaciones denominadas **Bases Gravimétricas Permanentes (BGP)** en 4 polígonos regionales de Control con origen en la **BGP-XIII de Poza Rica** para apoyar la liga de las Estaciones Base de los prospectos que se encuentran en la vecindad de estos polígonos, cuya ubicación se muestra de detalle en el plano de la **Fig. 7**.

En principio se programó establecer las **BGP** en Puntos Geodésicos, Pozos de PEMEX y Bancos de Nivel que de antemano tuvieran coordenadas perfectamente establecidas por INEGI ó **Petróleos Mexicanos**. En base a estos requerimientos, **Petróleos Mexicanos** por medio de su Departamento de Cartografía proporcionó las coordenadas de Puntos Geodésicos, Pozos y Bancos de Nivel de la porción NE de la República Mexicana.



La primera etapa de este proyecto se inició de acuerdo a los requerimientos mencionados colocando las BGP en pozos de PEMEX y puntos geodésicos desde Tuxpan a Tampico, Tams., pero desde este punto en adelante se tuvieron serios problemas para encontrar los pozos, ya que éstos son antiguos y los caminos de acceso ya desaparecieron o están cubiertos por vegetación.

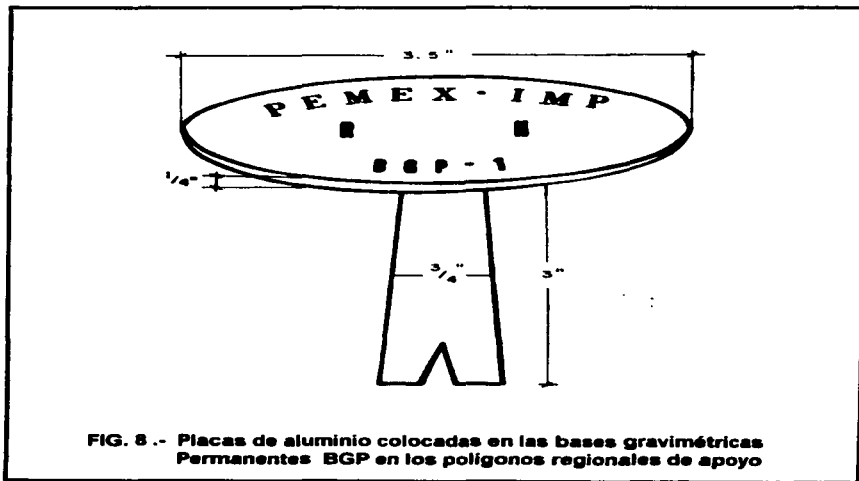
Este problema también se presentó con los Puntos Geodésicos o Bancos de Nivel ya que se encuentran completamente destruidos, además de que su localización en campo es difícil porque los sitios donde originalmente se colocaron, se encuentran completamente cambiados.

Debido a esta situación, se decidió que las BGP se establecieran en puntos estratégicos y de fácil localización tales como cruces de carreteras, monumentos, iglesias, catedrales y plazas principales de los poblados que se encuentran en la trayectoria de cada uno de los polígonos de control programados. De esta forma se aseguró la permanencia de las BGP durante un largo período de tiempo.

Las bases que se colocaron para señalar la posición de las BGP son de aluminio con la forma de una tachuela de 3.5" de diámetro y un ancla de 3" que se ajusta a los requerimientos estandar de este tipo de señalamientos, las características de estas placas se muestran en la Fig. 8.

- C) El tercer objetivo es el de incorporar las constantes de corrimiento que se determinaron en las mediciones de campo de cada uno de los prospectos ligados, a la base de datos gravimétricos BASEGRA, con el fin de eliminar

desde su origen los problemas que se generan en los datos gravimétricos al integrar varios prospectos con diferentes bases gravimétricas de referencia como se puede observar en la Fig. 9. La consecuencia directa referir los prospectos gravimétricos una base gravimétrica común se muestra en la Fig. 10, donde se observa el plano de Anomalia de Bouguer sin problemas en los límites y empalmes de los prospectos integrados.



- D) El cuarto objetivo es el de facilitar el manejo de la información gravimétrica para trabajos de análisis e interpretación de grandes áreas, ya que la información final se tiene normalizada a un marco de referencia común, lo cual implica que está uniformizada y absolutamente confiable.

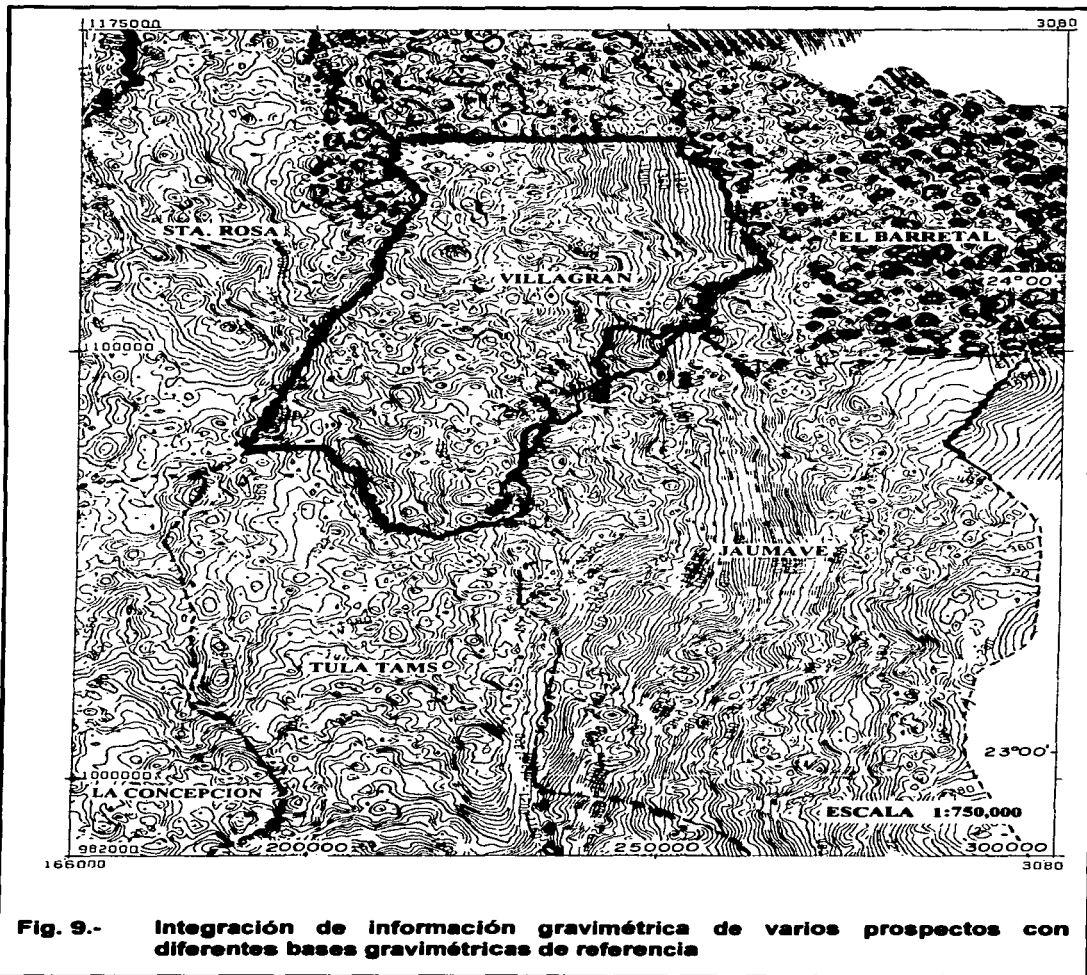


Fig. 9.- Integración de información gravimétrica de varios prospectos con diferentes bases gravimétricas de referencia

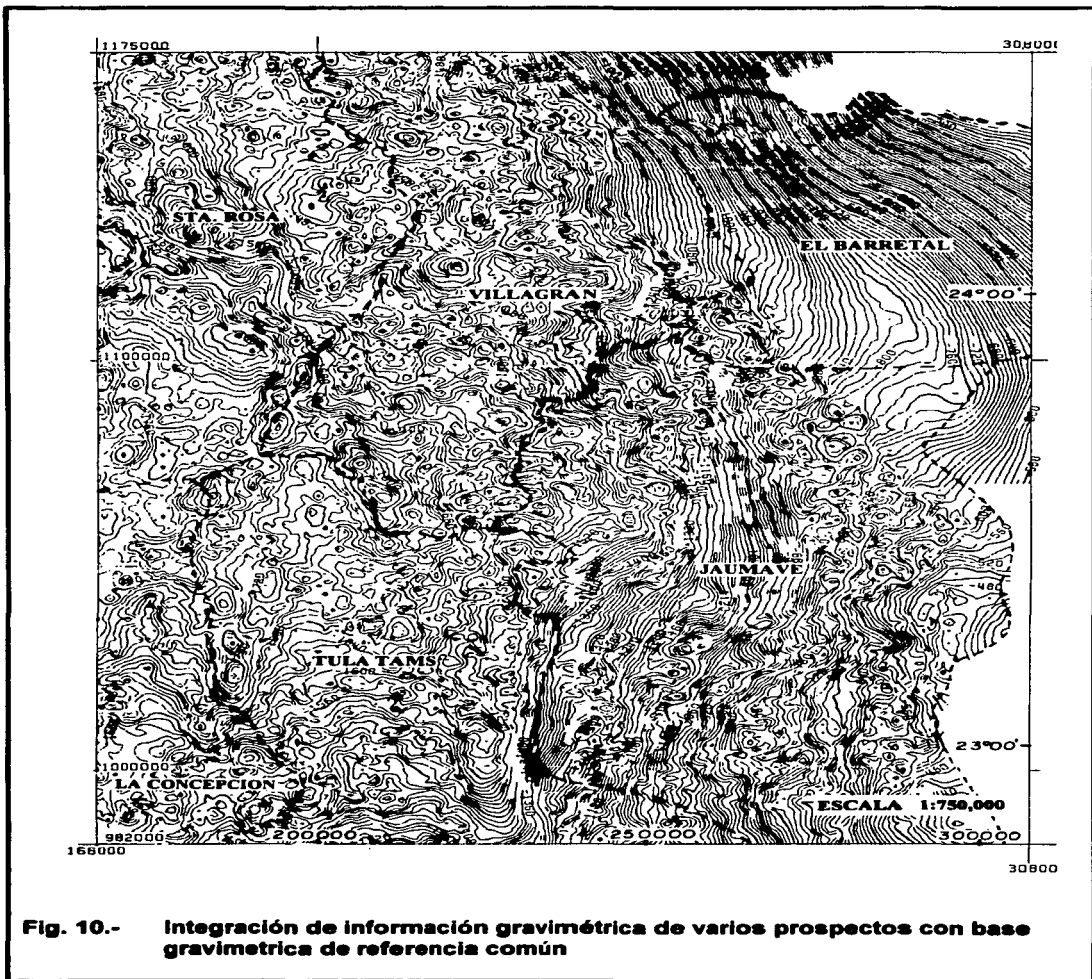


Fig. 10.- Integración de información gravimétrica de varios prospectos con base gravimétrica de referencia común

IV GENERALIDADES

IV.1 Mapa de Anomalía de Bouguer

En esencia, el método gravimétrico es la localización de anomalías del campo gravimétrico terrestre y su relación con las masas o estructuras geológicas emplazadas en el subsuelo. Una anomalía es la diferencia entre el valor de gravedad medido y el valor teórico de la gravedad basado en un modelo matemático del campo gravimétrico terrestre; por lo tanto, una anomalía reflejará los efectos que no forman parte del modelo teórico.

Si la tierra fuera una esfera aislada, perfectamente lisa, de densidad constante respecto a sus capas concéntricas y no girara sobre su eje, el problema de interpretación de los datos gravimétricos sería muy simple. Este es el caso en el que el geode (superficie imaginaria en la que el potencial gravimétrico en cualquier punto tiene el mismo valor) sería una esfera perfecta. Las variaciones locales de densidad o irregularidades estructurales producirían anomalías de fácil interpretación. Desafortunadamente, la tierra está lejos de ser una esfera con las condiciones mencionadas, ya que los cambios de densidad son considerables en las rocas continentales y oceánicas, además los efectos de la luna y el sol no pueden ser pasados por alto.

Al realizar observaciones con un gravímetro en la superficie terrestre medimos las variaciones relativas de la componente vertical del campo gravimétrico terrestre. Estas mediciones, en consecuencia, tienen incluidos los siguientes efectos:

- **Masas o estructuras geológicas emplazadas en el subsuelo**
- **Variaciones de la gravedad a lo largo del día producidas por los cambios de posición del sol y la luna (efecto lunisolar o de mareas) y por la deriva instrumental propia del gravímetro.**
- **Variaciones de la gravedad debidas a la forma irregular de la tierra y al efecto de rotación**
- **Diferencias de altitud de las estaciones gravimétricas entre sí y con-relación al plano de referencia.**

Para obtener información que muestre sólo las anomalías producidas por los contrastes de densidad de las masas o estructuras geológicas emplazadas en el subsuelo, se deben aplicar métodos matemáticos que aislen la tierra y la ajusten a un modelo perfecto. Para llegar a estas condiciones es necesario realizar las siguientes correcciones a los datos gravimétricos:

a) Corrección por deriva y marea

Esta corrección elimina la deriva del instrumento y las variaciones en los valores de gravedad producidos por los cambios de posición de la luna y el sol. Se hace estableciendo una estación base dentro del área a estudiar donde periódicamente se toman mediciones para observar dichos cambios del valor de gravedad y, posteriormente, con base en estos valores, corregir las mediciones hechas durante el día. Estas correcciones el gravímetro Scintrex modelo CG3 que se utilizó en el desarrollo de este proyecto las hace automáticamente al ajustar la

fecha, hora y las coordenadas del punto de lectura, por lo que en nuestro caso no fue necesario aplicar la metodología antes descrita.

b) Corrección de aire libre

Puesto que la gravedad varía inversamente con el cuadrado de la distancia es necesario corregir las lecturas de las estaciones por los cambios de elevación para referirlas a una determinada elevación sobre el nivel del mar. Es decir, los datos se ajustan a una superficie tal que la distancia al centro gravitacional de la tierra siempre es la misma.

Como esta corrección toma en cuenta la reducción del valor de la gravedad con el incremento de la elevación, debe ser sumada a estaciones que se encuentran a una elevación mayor que el nivel de referencia establecido y, por lo tanto, restada a las estaciones que se ubican debajo de este nivel de referencia, sin considerar los efectos de atracción del material entre la elevación del punto de medida y la elevación de referencia. El factor de variación del valor de la gravedad respecto a la elevación se determina como sigue:

La gravedad en un punto sobre la superficie de la tierra a nivel del mar se calcula con la ecuación:

$$g = GM / R^2$$

donde:

G = Constante gravitacional

M = Masa total de la tierra

R = Radio de la tierra

El gradiente vertical de "g" es:

$$dg / dz = dg / dR = - 2GM / R^3 = - 2g / R$$

Si tomamos el radio medio de la tierra $R = 6.37 \times 10^8$ cm. y para el valor teórico de la gravedad al nivel del mar a una latitud de 45° , $g = 980.629$ gales tenemos que:

$$\begin{aligned} dg / dz &= - 0.3086 \times 10^{-5} \text{ gales/cm} = -0.3086 \text{ miligales/m} \\ &= -0.09406 \text{ miligales/pie} \end{aligned}$$

Existe un pequeño término de segundo orden que es despreciable, excepto para elevaciones altas, ya que sólo asciende a 0.07 miligales para una elevación de 1000 m, 0.3 miligales para 2000 m y 1.7 miligales para 5000 m. Este valor puede ser calculado en forma aproximada con la relación $0.07h^2$ donde "h" está en Km. Generalmente, este pequeño término no se considera, por ello la corrección de aire libre siempre se calcula como 0.3086 miligales/m ó 0.09406 miligales/pie, según el sistema que se utilice.

Si una corrección propia para este efecto de elevación no se hiciera, un mapa de gravedad estaría fuertemente afectado por diferencias en elevación entre los diferentes puntos de medición. Un mapa de aire libre se elabora con los datos gravimétricos corregidos sólo por latitud y aire libre

c) Corrección de Bouguer

Esta corrección reduce los datos a una superficie plana, eliminando el material entre esta nueva superficie y la superficie original donde se hicieron las mediciones. El material se elimina por medio de losas infinitas de espesor "h" que

corresponde a la diferencia de elevación entre la estación de referencia y la estación de medición, suponiendo que la superficie original del terreno fuera plana. Obviamente, si la superficie tiene ondulaciones, el efecto puede ser significativo cuando se trata de anomalías muy pequeñas.

Para entender estos conceptos, supongamos que dos estaciones "A" y "B" están a diferentes elevaciones ($B > A$) y deseamos calcular cuál sería la diferencia de gravedad si estuvieran al mismo nivel (supongamos al nivel de la estación "A"). Si simplemente corregimos la estación "B" a la elevación de "A" por la corrección de aire libre, no habremos tomado en cuenta la atracción en "B" de la masa de material debajo de la estación "B", la cual no estaría presente si "B" estuviera al mismo nivel de "A". La atracción vertical del material debajo de la estación "B" se calcula con la expresión $g = 2\pi G\sigma h$, como si fuera una losa infinita de espesor "h" y densidad " σ ", suponiendo una topografía plana. La atracción de ésta losa para un valor de $G=6.6732 \times 10^{-8}$ dina·cm²·gr⁻² es:

$$\begin{aligned}g &= 0.4193\sigma h \text{ miligales / metro} \\ &= 0.01278\sigma h \text{ miligales / pie}\end{aligned}$$

A la corrección por la atracción de este material debajo de la estación "B" se le denomina **corrección de Bouguer** (matemático y geodesta francés).

El material bajo la estación "B" tiende a incrementar la gravedad, por lo tanto, se opone al efecto de aire libre, debido a esta condición **las correcciones de Bouguer y aire libre son de signo opuesto**. Dado que, ambas correcciones son simples constantes multiplicadas por las diferencias de elevación, en la práctica es

común combinar los dos efectos en una sola constante que se determina con una densidad promedio de la zona en estudio.

d) Corrección por terreno (efecto topográfico)

Cuando la topografía es muy irregular, la corrección por la atracción del material se vuelve más complicada, ya que deben tomarse en cuenta los efectos causados por los excesos y deficiencias de masa en la vecindad de la estación de medida, tales como colinas y valles respectivamente.

Supongamos que una estación "A" se encuentra en la parte superior de un valle, este valle se puede considerar como una masa negativa que reduce el valor de gravedad en la estación "A". Del mismo modo, si esta estación "A" se ubica junto a una colina, ésta ejercerá una atracción cuya componente vertical estará dirigida hacia arriba y, por lo tanto, reduce el valor de la gravedad en la estación "A". En consecuencia, el efecto de las irregularidades topográficas siempre es de reducción de la gravedad, lo que da lugar a que la corrección por este efecto siempre sea aditiva.

El efecto topográfico se calcula dividiendo el área situada alrededor de la estación de medida en compartimentos limitados por círculos concéntricos y radios trazados a intervalos angulares apropiados. En cada compartimento se determina la elevación media "Z" sin tomarse en cuenta el signo, es decir, se le da el mismo tratamiento a una colina que a un valle, considerando a ambos con diferencia de elevación positivas respecto al nivel de referencia. Esta corrección se hace por medio de cartas y tablas cuyo autor es Sigmund Hammer (Geophysics, Vol. 4,

pags. 184-194, 1939) o actualmente por medio de programas de computadora elaborados especialmente para calcular este efecto.

e) Corrección por latitud

Como ya se mencionó, la tierra no es una esfera perfecta, podría considerarse como una masa con cierta fluidez casi elíptica sujeta a fuerzas gravitacionales que tienden a hacerla esférica y fuerzas centrífugas de rotación que tienden a achatarla; estas condiciones dan como resultado que el radio ecuatorial sea mayor que el radio polar en aproximadamente 21 Kilómetros. Debido a este achatamiento, la aceleración de la gravedad es aproximadamente 5.17 gales mayor en los polos que en el ecuador. La fuerza centrífuga es perpendicular al eje de rotación de la tierra y es proporcional a la distancia respecto al eje, por lo tanto, es cero en los polos y tiene su máximo valor en el ecuador donde es directamente opuesta a la atracción gravitacional. Este valor se puede calcular con la relación $\omega^2 r$ donde " ω " es la aceleración angular y " r " es el radio ecuatorial de la tierra.

Para eliminar estos efectos se han establecido algunas fórmulas que matemáticamente se aproximan a la forma de la tierra. Estas fórmulas han estado cambiando con el tiempo, de acuerdo al incremento de precisión y mediciones de gravedad alrededor del mundo. Las fórmulas más utilizadas son las siguientes:

• Fórmula de Helmert

Data de 1901-1909 y está basada en 1600 mediciones relativas de la gravedad distribuidas alrededor de la tierra. Esta fórmula se utilizó bastante en trabajos antiguos y su expresión es:

$$g_t = 978.03 (1 + 0.005302 \sin^2\phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

En la que se considera un radio ecuatorial $a = 6,378,200$ m, un radio polar $b = 6,356,818$ m. y un achatamiento $f = (a - b)/a = 1/298.2$

- **Fórmula del Servicio Geodésico de los Estados Unidos**

Data de 1917, fue utilizada en levantamientos geodésicos y exploración gravimétrica, está basada en el ajuste de 216 mediciones relativas de la gravedad en los Estados Unidos, 42 en Canadá, 17 en Europa y 73 en la India; su expresión es:

$$g_t = 978.039 (1 + 0.005294 \sin^2\phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$$

El valor correspondiente del achatamiento para esta fórmula es:

$$f = (a - b)/a = 1/297.4$$

- **Fórmula internacional de 1930**

Esta fórmula fue adoptada por la asamblea general de la Asociación Internacional de Geodesia en 1930 y hasta la fecha se sigue utilizando, su expresión es:

$$g_t = 978.049 (1 + 0.0052884 \sin^2\phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi)$$

En está fórmula se considera un radio ecuatorial $a = 6,378,388$ m, un radio polar $b = 6,356,909$ m. y un achatamiento $f = (a - b)/a = 1/297$

- **Fórmula del Sistema de Referencia Geodésico de 1967**

Esta es la fórmula más reciente y es la que actualmente se debe utilizar para corregir los datos gravimétricos, ya que está calculada considerando nuevas mediciones gravimétricas, integradas a la Red Internacional de la Gravedad 1971 (IGSN71) y con base en el Sistema de Referencia Geodésico de 1967. Esta fórmula fue adoptada por la resolución No. 13 en agosto de 1977, en la reunión de la Comisión de Geofísica que se llevó a cabo en Quito Ecuador y cuya expresión es:

$$g_s = 978.03185 (1 + 0.005278895 \text{ sen}^2\phi + 0.000023452 \text{ sen}^42\phi)$$

En esta fórmula que se considera un radio ecuatorial $a = 6,378,160$ m. un Radio polar $b = 6,356,775$ m. y un achatamiento $f = (a - b)/a = 1/298.247$ Como la gravedad se incrementa con la latitud, la corrección se suma si nos movemos hacia el ecuador, y se resta si nos movemos hacia los polos.

Tomando en cuenta cada una de las correcciones mencionadas la anomalía de Bouguer se calcula como sigue:

$$AB = \text{gravedad observada} \pm \text{corrección por latitud} + \text{corrección por aire libre} - \text{corrección de Bouguer} + \text{corrección topográfica}$$

En resumen, la tierra se aísla en el espacio por medio de la corrección por deriva y marea, su superficie se suaviza por medio de las correcciones de aire libre, Bouguer y terreno (topografía), su rotación se detiene y su forma se ajusta a una esfera por medio de la corrección por latitud. Si todas las correcciones se hacen correcta y cuidadosamente, la anomalía resultante deberá ser solamente la

producida por los contrastes de densidad causados por el emplazamiento de masas o estructuras geológicas en el subsuelo, tales como domos salinos, anticlinales, sinclinales, fallas o cuerpos mineralizados. El mapa gravimétrico que se obtiene después de las correcciones mencionadas se denomina Mapa de Anomalía de Bouguer.

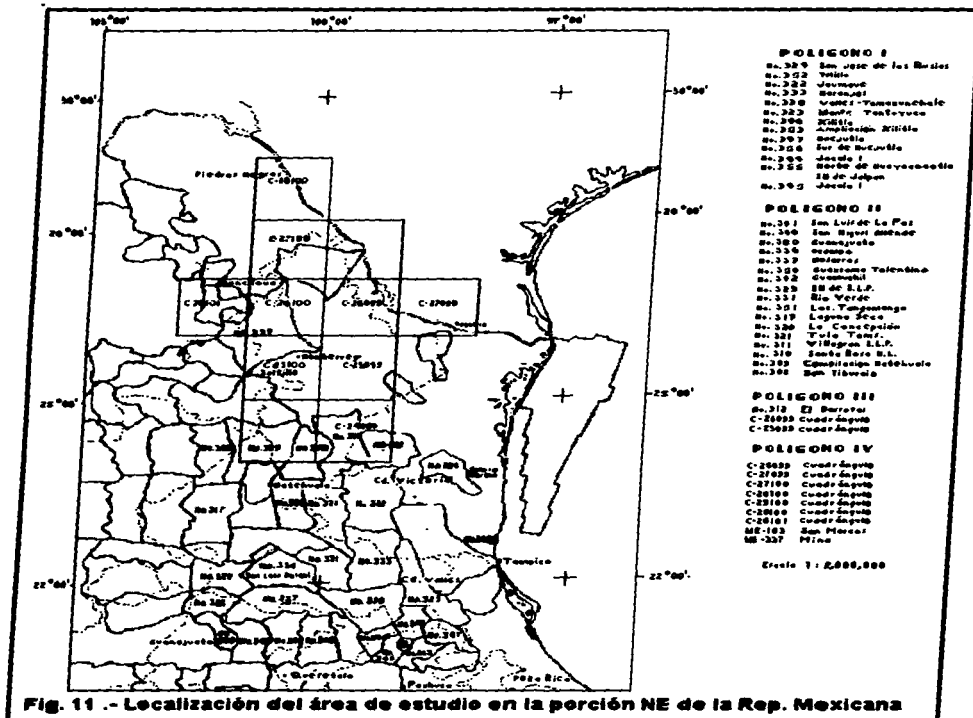
Estas correcciones no siempre se aplican en todos los casos, las que son esenciales y siempre se utilizan son las correcciones por deriva, marea, aire libre y Bouguer. La corrección por topografía no se aplica cuando el terreno es excepcionalmente plano y la corrección por latitud sólo se utiliza cuando el levantamiento es de detalle o cubre distancias considerables en dirección Norte-Sur.

IV.2 Localización del Área

El área de estudio se muestra en la Fig. 11, queda comprendida entre los paralelos 20° 00' y 29° 45' de latitud norte y los meridianos 97° 00' y 102° 30' de latitud oeste. Tiene una superficie aproximada de 390,00 km² y cubre la parte Norte del Estado de Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, porción Oriente de Coahuila, parte Noreste de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo.

IV.2 Condiciones Establecidas

Para el desarrollo de este proyecto se establecieron una serie de condiciones que se deben cumplir para que los datos y valores de gravedad de las (BGP) sean



realmente confiables. Estas condiciones se ajustaron a las especificaciones del equipo utilizado y a las características de la información de los prospectos programados, ya que es bien sabido que algunos no cuentan con información completa o son tan antiguos que solo existen planos con Anomalías de Bouguer calculadas con parámetros diferentes a los utilizados actualmente, como por ejemplo, la densidad o la fórmula internacional de la gravedad. Respecto a los

sistemas de coordenadas, actualmente todos los prospectos se encuentran en el sistema de proyección **Universal Transversa de Mercator (UTM)** como resultado de un proyecto anterior que contemplaba la depuración y unificación de los datos de todos los prospectos de **Petróleos Mexicanos** a un sistema único de coordenadas. Este sistema aunque no es precisamente el adecuado para los requerimientos de este proyecto, sí es básico para tener los datos perfectamente ubicados para su posterior cambio a un sistema de coordenadas que permita manejar grandes áreas sin los problemas que se producen en coordenadas **UTM**, al integrar información donde hay cambios de zonas. Aunado a esto, existen programas de cómputo que hacen las conversiones que se consideren necesarias a cualquier sistema de coordenadas (**UTM, Geográficas, Lambert**).

Considerando la problemática a resolver se determinó ajustar el proyecto a las siguientes condiciones:

- a) Utilizar un sistema de coordenadas adecuado para manejar grandes extensiones sin problema de deformaciones notables.
- b) Los polígonos regionales de apoyo, donde se ubiquen las Bases Gravimétricas Permanentes (**BGP**), deben tener cierres menores o iguales a ± 0.5 u.g.
- c) La cantidad mínima de estaciones ligadas de cada prospecto para determinar la constante de corrimiento es de **6**, sin considerar las estaciones que tengan un valor botado y como consecuencia se eliminen.
- d) El rango de variación de las estaciones ligadas de cada prospecto no debe ser superior a ± 5.0 u.g. de lo contrario no se considera para el promedio.

e) Sólo se considera ligar los prospectos que tienen información completa y que se encuentran en la Base de datos gravimétricos **BASEGRA**. Esta información consiste en el Número de Estación, Estación Base, Coordenadas X y Y, Gravedad Observada y Elevación (**Nº EST., EST., BASE, X, Y, Goba, ELEV.**) como se observa en la **Tabla I** donde se imprimió una parte del archivo de datos del prospecto San Marcos.

f) Los prospectos digitizados que solamente tienen **Anomalía de Bouguer**, no se consideraron para su liga en los trabajos de campo de este proyecto por los diferentes parámetros con que fueron calculados, además de carecer del posicionamiento de las estaciones por lo que se decidió sólo colocar **Bases Gravimétricas Permanentes (BGP)** dentro del área cubierta por estos prospectos para apoyar los futuros levantamientos gravimétricos que validen y permitan calcular la respectiva constante de corrimiento

g) Para el cálculo de **Anomalía de Bouguer** se determinó la conveniencia de utilizar parámetros similares a los utilizados en el corrimiento de la Zona Centro, para que automáticamente quede ligada a los prospectos de la Porción NE de la República Mexicana

- **Fórmula del Sistema de Referencia Geodésico de 1967**

$$g_t = 978.03185 (1 + 0.005278895 \text{ sen}^2\phi + 0.000023462 \text{ sen}^4\phi)$$

- **Densidad de 2.67 gr/cm³**
- **Nivel de referencia de 0.0 metros sobre el nivel del mar**

EST	BASE	X	Y	GOBS.	ELEV	C.T.	AB.
1	1	200000	2000000	0700024.0	700.77	7.0	-1000.0
2	0	200774	2000000	0700007.2	700.00	7.2	-1000.0
3	0	200075	2000770	0700007.3	700.20	0.7	-1000.7
4	1	200775	2000000	0700007.7	700.10	0.0	-1000.4
5	0	200000	2000700	0700000.5	700.00	0.0	-1007.0
6	0	200000	2000700	0700007.4	770.10	0.0	-1007.2
7	0	200175	2000000	0700000.0	700.00	0.0	-1000.0
8	0	200070	2001000	0700000.4	700.10	0.0	-1007.0
9	1	200000	2001000	0700000.7	700.10	0.0	-1000.1
10	0	200000	2000775	0700000.0	700.20	0.0	-1007.0
11	0	200075	2001775	0700000.0	700.20	4.1	-1000.4
12	0	201000	2000070	0700071.0	000.20	0.0	-1000.7
13	1	201100	2000070	0700000.0	000.00	0.1	-1000.0
14	0	201000	2000000	0700000.0	011.70	4.0	-107.0
15	0	201000	2007700	0700070.0	014.20	3.2	-107.0
16	0	201075	2007700	0700070.0	010.00	4.0	-1000.0
17	0	201000	2000000	0700100.1	010.00	0.0	-1000.0
18	0	202070	2000000	0700170.0	020.00	4.7	1102.1
19	1	202207	2000212	0700100.2	020.14	4.2	-1112.7
20	0	202700	2000000	0700100.0	021.01	4.4	-1120.0
21	0	20070	2000275	0700102.1	022.00	3.0	-1120.4
22	0	200000	2000700	0700120.0	020.02	3.0	-1100.0
23	0	200700	2000075	0700110.0	000.00	3.0	-1120.0
24	0	200000	2000000	0700100.0	022.00	4.1	-1120.4
25	1	200070	2002000	0700000.2	000.11	4.1	-1120.0
26	0	200075	2002000	0700000.0	000.00	4.0	-1120.0
27	0	200075	2001075	0700072.0	002.00	0.1	-1107.0
28	0	200070	2001000	0700007.1	000.07	0.0	-1100.0
29	0	200700	2001024	0700000.0	001.00	4.0	-1107.0
30	0	200000	2000075	0700000.0	000.07	4.2	-1100.0
31	1	200000	2001000	0700007.0	000.00	4.0	-1100.0
32	0	200775	2000000	0707000.0	077.00	4.0	-1107.0
33	0	207175	2000075	0707007.0	000.00	3.0	-1107.0
34	0	207001	2000075	0707000.0	001.00	4.2	-1107.0
35	0	207775	2000070	0707000.0	000.07	3.0	-1107.0
36	0	200000	2000700	0707000.0	000.12	3.0	-1100.0
37	1	200000	2007000	0707001.0	000.00	4.1	-1100.0

EST. = NUMERO DE ESTACION
BASE = ESTACION BASE (1)
X = COORDENADA "X" EN UTM
Y = COORDENADA "Y" EN UTM
GOBS = GRAVEDAD OBSERVADA EN U.G.
ELEV = ELEVACION EN METROS
C.T. = CORRECCION POR TERRENO
AB = ANOMALIA DE BOUGUER

TABLA I.- ARCHIVO DE DATOS GRAMMETRICOS DEL PROSPECTO SAN MARCOS

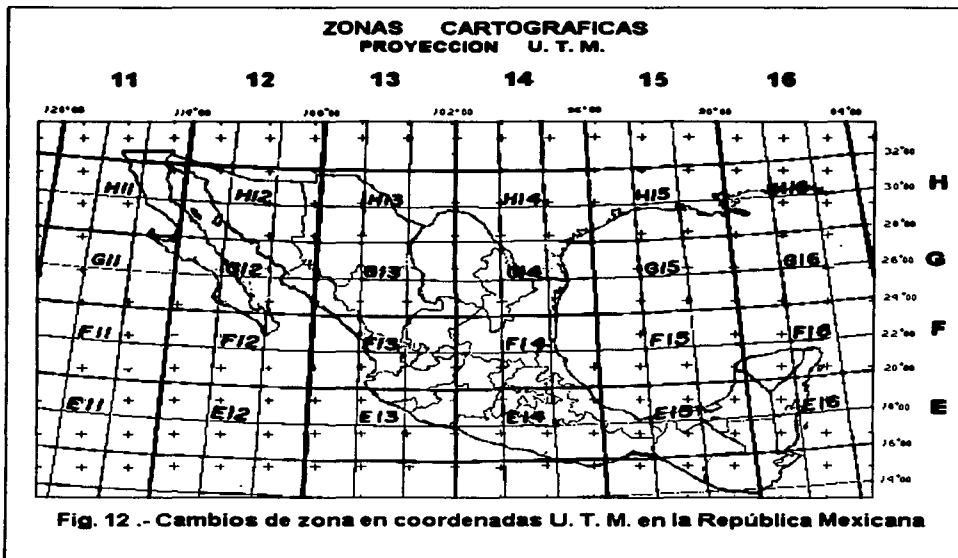
IV.3 Sistema de Coordenadas Lambert

Como anteriormente se mencionó, el posicionamiento de los levantamientos gravimétricos de Petróleos Mexicanos está basado en el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator (U.T.M.) que se muestra en la Fig. 12 donde se observan las diferentes zonas en el área que cubre la República Mexicana.

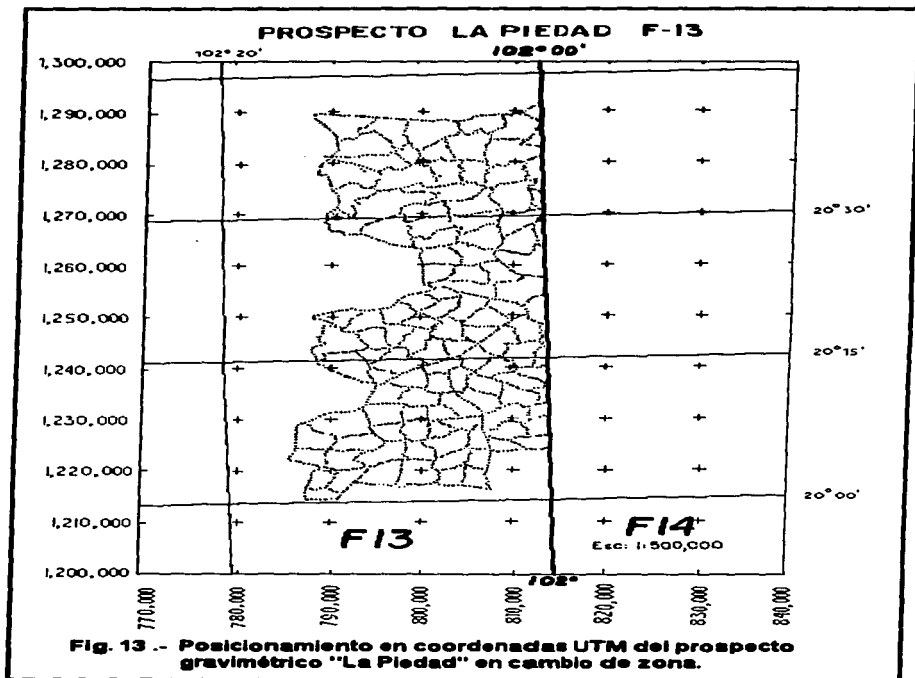
La aplicación de este sistema de proyección resulta válido cuando se representa en un plano en un área no muy extensa de la superficie de la Tierra. En el caso de grandes extensiones, esta proyección ocasiona deformaciones y presenta grandes problemas en las uniones con las diferentes zonas cartográficas o "cambios de zona" como en el ejemplo que se muestra en las Figs. 13 y 14 donde se observa la deformación producida en el meridiano 102° que corresponde precisamente en el cambio de la zona F13 a F14. Esta situación se presenta debido a la gran diferencia que existe entre los valores de las coordenadas "X" ya que como es bien sabido en coordenadas U.T.M., cada 6° (zona geográfica) existe una repetición de los valores de la coordenada "X" iniciando en aproximadamente 180,000 m. y finalizando en aproximadamente 850,000 m., teniendo siempre el valor de 500,000 m. en la parte central de la zona geográfica.

Para realizar la integración de los datos gravimétricos a nivel de la República Mexicana sin los problemas que plantea el sistema de coordenadas UTM, se requiere de una proyección que brinde en lo posible las siguientes características:

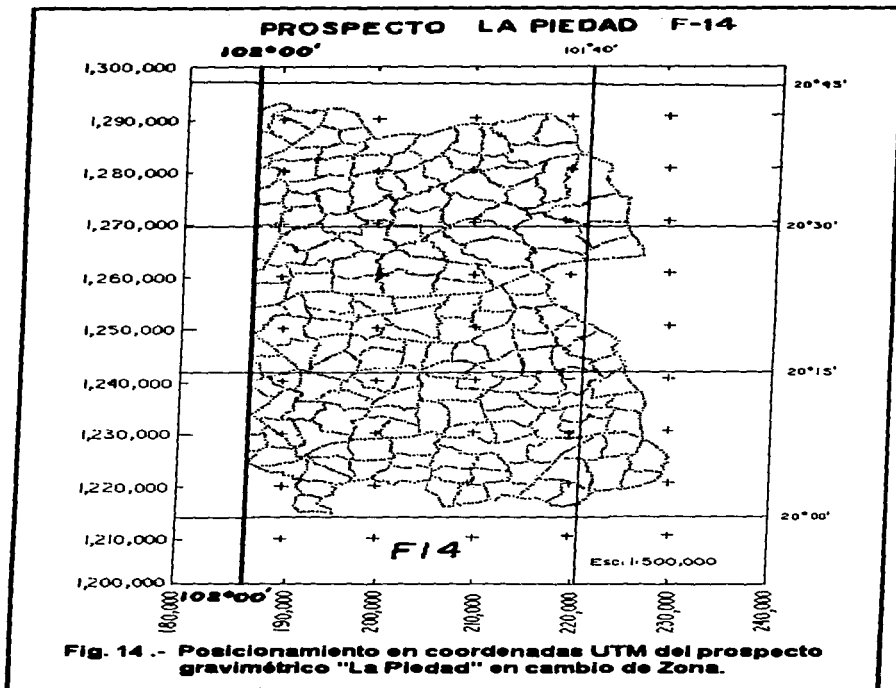
- **Que exista la menor deformación de las áreas que abarcan los prospectos gravimétricos**



- Que se puedan representar en un plano único
- Que las coordenadas sean fácilmente leídas
- Que la distancia más corta entre 2 puntos se pueda representar por una recta
- Que el sistema de coordenadas sea conocido y de uso común

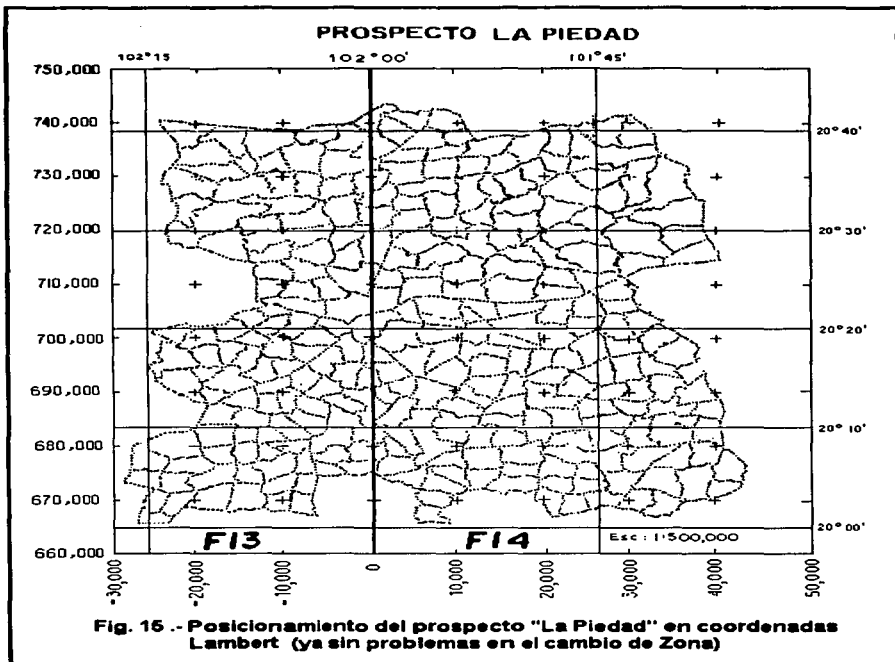


Considerando estos requerimientos, se optó por el sistema de proyección Lambert en su modalidad de dos paralelos tipo, ya que proporciona la menor deformación por unidad de longitud al representar grandes áreas y dado que no se consideran cambios de zona, no existen problemas de graficación o elaboración de planos que representan extensiones mayores a 650.0 km de longitud.



Los parámetros generales utilizados para este sistema son:

- **Meridiano Central:** -102°
- **Paralelo Norte Estandar:** 17° 30'
- **Paralelo Sur Estandar:** 29° 30'



- **Latitud Origen:** 14°
- **Este Falso:** 0.0
- **Norte Falso:** 0.0

La Fig. 15 muestra los resultados que se obtienen al cambiar el posicionamiento de coordenadas UTM a Lambert.

V.4 Recopilación de Información

Considerando la experiencia adquirida durante el proyecto de corrimiento de bases gravimétricas para la Porción Centro de la República Mexicana se solicitó el acceso al archivo técnico de Petróleos Mexicanos, con la finalidad de revisar los informes finales de cada uno de los prospectos programados para la Porción NE de la República Mexicana y clasificarlos en las 3 categorías que se consideraron según su contenido:

- **Informes Completos.** Son los informes que tienen croquis de localización de estaciones base de los cuales se obtuvo su correspondiente copia para facilitar en campo su localización y lectura ya que cuentan con los datos necesarios para ubicar perfectamente la estación seleccionada para su observación, como se puede apreciar en el croquis de localización de la estación base No.1 del prospecto San Marcos de la Fig. 16.
- **Informes Semicompletos.** Son los informes que sólo tienen algunos datos, tales como su base gravimétrica de referencia o densidad con la que se calculó su respectiva Anomalía de Bouguer. Estos prospectos se consideraron para su consulta en la base de datos BASEGRA con el fin de seleccionar las estaciones más accesibles y cercanas a ciudades o poblaciones, esto se logra graficando primeramente el posicionamiento de todas las estaciones del prospecto a escala 1:250,000 como se muestra en el plano de la Fig. 17, para ubicar el área más adecuada, posteriormente se eligen las cartas de INEGI a escala 1:50,000 que cubren dicha área y se grafican los datos del prospecto a esta misma escala para su localización en campo Fig. 18, donde ya se puede



GEOEVALUACIONES, S.A. de C.V.

AV. AMACUAC 615

MEXICO, D.F.

TELE. 532-79-19 672-04-52

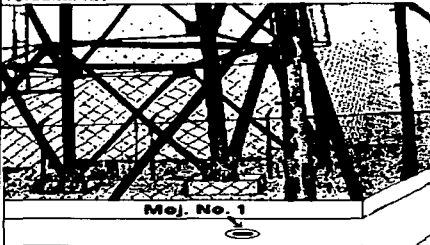
CROQUIS DE LOCALIZACION

AREA: MONCLOVA - CUATRO CIENEGAS	PROSPECTO: SAN MARCOS	BRIGADA: NEG-R
NUMERO ESTACION: B.G. No. 1; S.M. No. 1 S.S.M.	NOMBRE ESTACION: MOJONERA No. 1	PA No. 1
LOCALIDAD: POBLADO CASTAÑOS	N: 10°23' 07" 055	E: 26°48' 04" 7539
ESTADO: COAHUILA	E: 765.776 m.	PUNTO DEL CDO-REMEA
FECHA: ENERO - 1985	N.M.: 250 246.073	Vm: 2 266 553.103
GRAVEDAD OBSERVADA: 9 789 424.9 U.G.	ZONA: NOROESTE	

ITINERARIO. Partiendo de la gasolinera del poblado Castaños, Coahuila; rumbo a la Cd. de Monclova recorra 500 mts. sobre la carretera 230 mts. al oriente se encuentra la Mojonera No. 1.

La marca consiste en una placa de aluminio empotrada en la banqueta del cerco de protección de la torre de microondas cuya inscripción dice: "GEOEVALUACIONES, S.A. EXPLORACION NO DESTRUIR".

FOTOGRAFIA.



CROQUIS Y REFERENCIA: 48-25 (5-14-82) A MONCLOVA

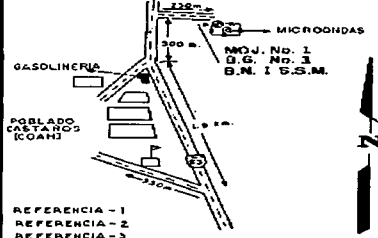
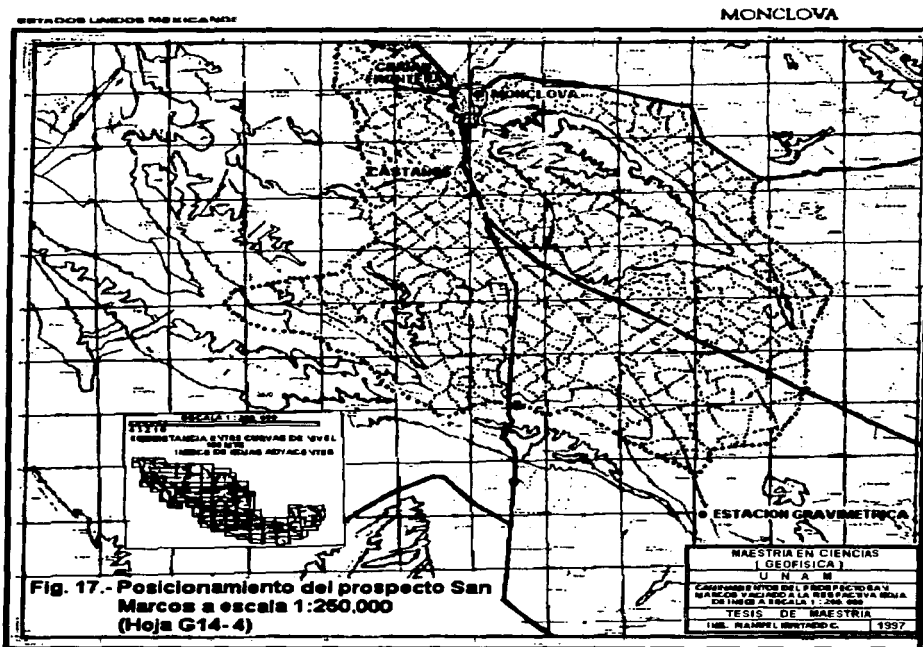


Fig. 16.- Croquis de localización de estaciones base de prospectos gravimétricos con informe completo

apreciar con bastante precisión la posición de las estaciones seleccionadas para su posterior observación con el gravímetro.

- **Informes que sólo cuentan con Anomalia de Bouguer.** Esta información se encuentra digitizada, pero carece de los datos de posicionamiento y como se mencionó anteriormente, la Anomalia de Bouguer se calculó con parámetros

diferentes a los que se utilizaron para este proyecto, por lo que no se consideraron para su respectiva liga, sólo se decidió colocar estaciones Base Gravimétricas Permanentes (BGP) dentro del área que estos prospectos cubren para en el futuro apoyar los trabajos gravimétricos que validen esta información o permitan calcular su respectiva constante de corrimiento. En la Fig. 19 se muestra el diagrama de flujo de la etapa de recopilación que se siguió al inicio del desarrollo de este proyecto.



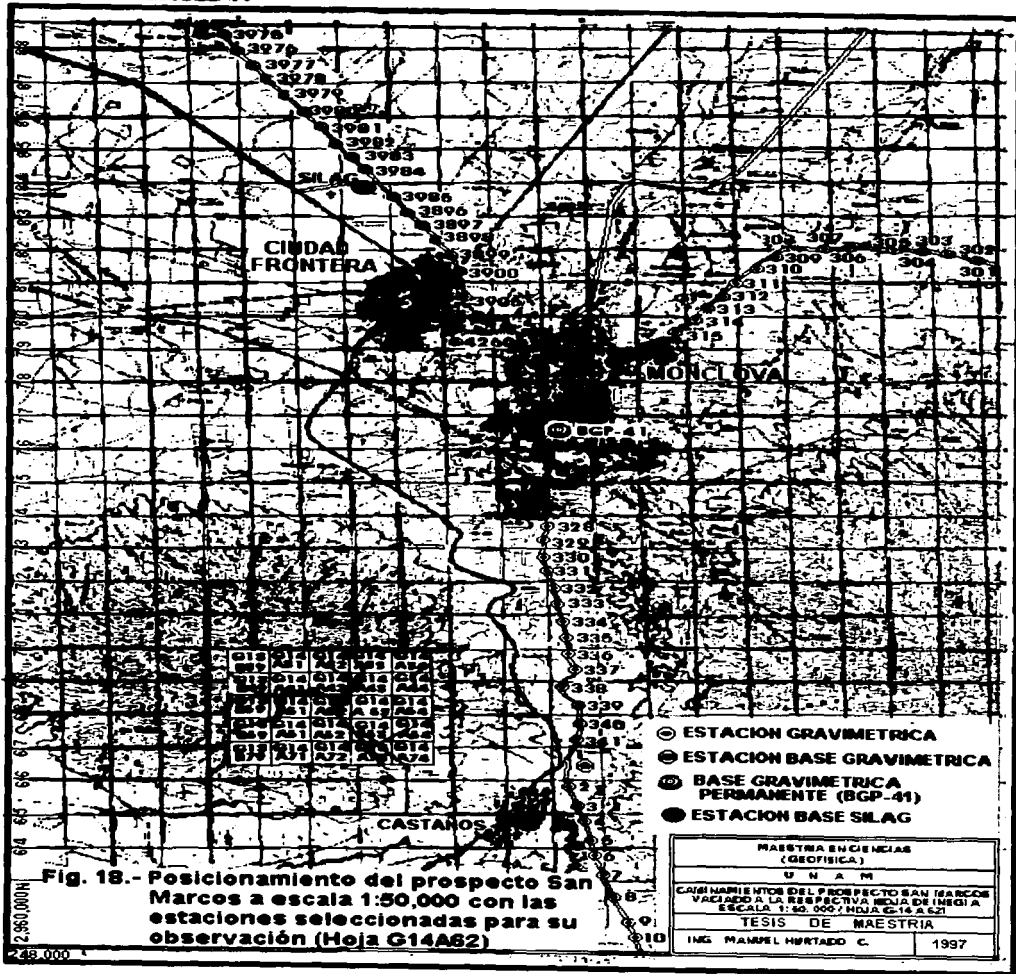
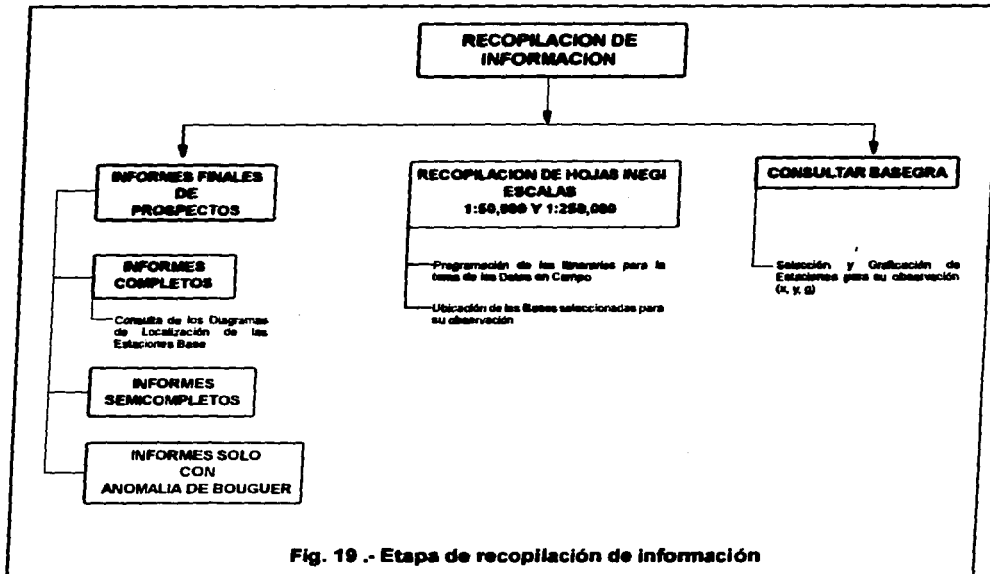


Fig. 18.- Posicionamiento del prospecto San Marcos a escala 1:50,000 con las estaciones seleccionadas para su observación (Hoja G14A62)

- ESTACION GRAVIMETRICA
- ⊖ ESTACION BASE GRAVIMETRICA
- ⊕ BASE GRAVIMETRICA PERMANENTE (BGP-41)
- ESTACION BASE SILAG

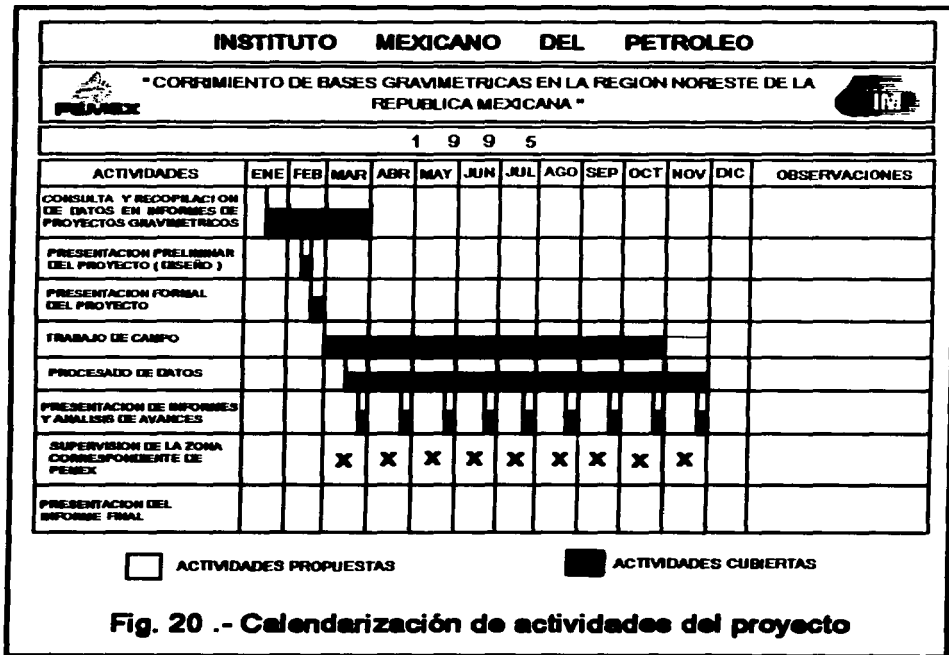
MAESTRIA EN CIENCIAS (GEOFISICA)	
U N A M	
CASO MARCO ENTORNO DEL PROSPECTO SAN MARCOS VALLEJO A LA RESERVA NATURAL DE INEGI A ESCALA 1:50,000 (INDIA C-14 A 62)	
TESIS DE MAESTRIA	
ING. MANUEL HERRERA C.	1997



IV.5 Programa de trabajo

El programa de trabajo se estableció de acuerdo al área a cubrir y a la ubicación de los 43 prospectos que cubren la porción NE de la República Mexicana. Para apoyar la liga de estos prospectos se programaron 4 polígonos regionales de control con punto de partida en la BGP-XIII de Poza Rica, Ver., en algunos casos se tuvo la necesidad de dejar líneas abiertas para ligar aquellos prospectos que se encuentren demasiado lejos de los polígonos principales.

Para estos trabajos se propusieron cuatro Ingenieros Geofísicos que en parejas trabajaron alternadamente periodos de 20 días en operación de campo, 5 días hábiles de descanso y 10 días para presentar informe de avance y preparar la información necesaria para el siguiente periodo, en cada periodo se estimó ligar de 3 a 4 prospectos iniciando los trabajos de campo el 22 de febrero y finalizando en los primeros días de diciembre de 1995. La calendarización correspondiente se muestra en la Fig. 20.



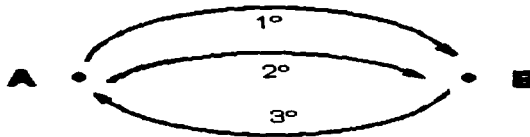
V MEDICIONES GRAVIMETRICAS Y RED DE ESTACIONES DE BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES

V.1 Corrimiento del valor de gravedad y establecimiento de las Bases Gravimétricas Permanentes (BGP)

Esta primera etapa consistió en llevar el valor de gravedad de la **Estación Base Gravimétrica Permanente XIII**, establecida por **Petróleos Mexicanos** en Poza Rica, Ver. (**Fig. 5**), a las estaciones (**BGP**) programadas en el primer polígono de control con cierre en la misma **BGP-XIII**, con en fin de establecer la primera parte de la red de estaciones (**BGP**), para apoyar la liga de los prospectos que se encuentran dentro o en las inmediaciones de este polígono, además de verificar la resolución y deriva el gravímetro **Scintrex** utilizado para este proyecto.

En esta etapa se colocaron 15 **BGP** y 6 estaciones auxiliares que en conjunto cubrieron parte de los estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo, en la **Fig. 7** se muestra a detalle la posición y población en las que se hizo la colocación de la respectivas **BGP** y estaciones auxiliares en los cuatro polígonos regionales.

El método utilizado para el corrimiento del valor de gravedad se muestra gráficamente en la parte superior de la **Fig. 21**, este método es de "Loops



LOOPS DE TRIPLE RECORRIDO PARA EL CORRIMIENTO DEL VALOR DE GRAVEDAD (AB - BA - AB)



LOOPS DE DOBLE RECORRIDO PARA LIGAR LAS ESTACIONES SELECCIONADAS DE CADA PROSPECTO (A B C D E - E D C B A)

Fig. 21 . - Tipo de loops utilizados en las mediciones gravimétricas para el corrimiento del valor de gravedad y para la liga de los prospectos

cerrados de triple recorrido" entre cada estación, con una separación promedio de 50-80 Kms., aún cuando teóricamente con este gravímetro **SCINTREX** no es necesario ya que las correcciones por deriva y marea se hacen automáticamente y no es necesario hacer cambios de rango ya que opera en un rango de 7000 miligales. La utilización de este método produce un perfecto control de las diferencias de gravedad entre cada estación, considerando que la distancia

mencionada entre cada estación se recorre en aproximadamente una hora que es un tiempo mucho menor al establecido para los cierres con los gravímetros convencionales. El señalamiento de las BGP se estableció con las placas de aluminio mencionadas (Fig. 8), colocadas en lugares estratégicos de fácil localización.

La identificación de cada base se hizo grabando en la cara superior de cada placa la leyenda PEMEX-IMP (Petróleos Mexicanos - Instituto Mexicano del Petróleo), R.N. (Región Norte), BGP-XXX (Número de BGP), además se tomó su respectiva fotografía, el croquis de localización, coordenadas X, Y, en el sistema UTM y se determinó el valor de gravedad absoluto en ese punto, todos estos datos se integraron en una hoja como la que se muestra en la Fig. 22. para su fácil localización.

El mismo criterio se utilizó para las **Bases Gravimétricas Permanentes y Auxiliares** donde no se hizo el señalamiento con la placa de aluminio, pero se encuentran perfectamente localizadas ya que estas estaciones se utilizaron para tomar lecturas en puntos intermedios cuando la distancia entre cada estación BGP es mayor de 80.0 km. y no existe un sitio estratégico o no se otorga el permiso correspondiente para colocar la BGP.

En cada uno de estos sitios se hizo la solicitud del permiso para colocar la placa a las autoridades civiles, eclesiásticas y militares para evitar cualquier problema derivado de los trabajos de colocación de las placas y evitar en lo posible su destrucción. El total de **Bases Gravimétricas Permanentes** establecidas en los cuatro polígonos es de 67 y 8 auxiliares cuya ubicación se muestra en el plano de la Fig.7.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
POLIGONO DE CONTROL II
BASE GRAVIMETRICA PERMANENTE BGP - 25

ESTADO:
CIUDAD:
GRAVEDAD:
COORDENADA X (UTM):
COORDENADA Y (UTM):
FECHA:
ZONA:

SAN LUIS POTOSI
SAN LUIS POTOSI
9781977.01 u. g.
298,260 m.
2,480,600 m.
4 - JULIO - 1965
14



FOTOGRAFIA DE LA ESTACION

DESCRIPCION:

Se ubica en el Distribuidor Juárez que esta en la entrada a la Ciudad de San Luis Potosí llegando de la Ciudad de México, D.F., donde esta el cruce de carreteras Guadalajara - Aguascalientes - Mathuala - México - Río Verde - San Luis Potosí (Centro).

NOTA:

Se observó y colocó placa en el lado Sur del último escalón de la escalinata frente a la estatua de Juárez que esta en el centro de la glorieta.

CROQUIS DE LOCALIZACION BGP-25 EN EL DISTRIBUIDOR JUAREZ EN LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI

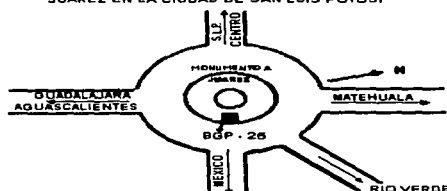


Fig. 22. - Base Gravimétrica Permanente (BGP) establecida en el proyecto "Corrimiento de Bases gravimétricas en la Porción NE de la República Mexicana"

V.2 Bases Gravimétricas de los prospectos y liga de los mismos

Como se mencionó en la parte de recopilación de información, algunos prospectos cuentan con croquis de localización de sus estaciones base Fig. 16, estos son los que se consideraron de más fácil localización ya que para ligarlos sólo se utiliza la base gravimétrica BGP más cercana como apoyo y se toman las lecturas con el gravímetro en las estaciones seleccionadas para determinar la diferencia de gravedad que como consecuencia producen la correspondiente constante de corrimiento para cada estación del prospecto en cuestión. El cálculo de la constante de corrimiento se hace inmediatamente para verificar que esté dentro del rango establecido de ± 5.0 u.g., de lo contrario se elimina la estación con valor fuera de rango y se hace la lectura de otra estación para completar la cantidad mínima de 6 estaciones y máxima de 10 para cada prospecto.

Cuando los prospectos carecen en su informe de croquis de localización de estaciones base se consulta la base de datos gravimétricos BASEGRA para graficar el posicionamiento de las estaciones de cada prospecto a escala 1:250,000 y seleccionar las estaciones más adecuadas (Fig. 17), como se mencionó anteriormente y posteriormente a escala 1:50,000 en película para sobreponer este plano en las respectivas hojas de INEGI a la misma escala (Fig. 18). Las estaciones seleccionadas para su observación deben reunir las condiciones suficientes que aseguren su localización en campo lo más exacto posible, esto se logra seleccionando las estaciones que tengan rasgos topográficos bien establecidos que no cambian fácilmente con el tiempo como ríos, arroyos, puentes, canales, cruce de caminos, líneas de alta tensión, etc. ya que las hojas de INEGI en general no están actualizadas y solo los rasgos topográficos importantes permanecen sin cambio.

Actualmente se está utilizando un posicionador por satélite **MAGELLAN GPS PROMARK X**, que facilita la operación de posicionamiento en campo, mejorando la técnica mencionada que asegura la lectura con el gravímetro en la posición correcta con un rango de error de ± 15.0 mts., como máximo y en algunos casos menor de ± 5.0 mts.

La lectura de las estaciones base de cada prospecto también se hizo con el método de "Loops cerrados de doble recorrido", aún cuando teóricamente se consideró innecesario, pero se hizo con el fin de tener un mayor control en las lecturas y asegurar el buen funcionamiento del gravímetro, este método se muestra gráficamente en la parte inferior de la Fig. 21.

V.3 Cálculo de las Constantes de Corrimiento

Las constantes de corrimiento de cada prospecto se obtuvieron de la siguiente forma:

- Lectura del valor de gravedad en miligales en la **BGP** más cercana a las estaciones base del prospecto a ligar
- Lectura del valor de gravedad en migales en las estaciones base de cada prospecto referida a la **BGP** más cercana
- Cálculo de la diferencia de gravedad entre la **BGP** y la estación observada para determinar su correspondiente valor de gravedad observada (**G_{IMP}**)

- El valor de gravedad observada originalmente por la brigada de Petróleos Mexicanos ó la Cía. contratada en cada una de las estaciones del prospecto seleccionadas se denomina como (G_{PEMEX}) para evitar confusiones
- Cambio de los valores de gravedad de miligales (mg) a unidades gravimétricas (u.g.) para igualar las unidades de gravedad en los datos originales.

Conversión $\rightarrow 1 \text{ mg.} = 10 \text{ u.g.}$

- Cálculo de la diferencia de gravedad entre el valor (G_{IMP}) y (G_{PEMEX}) para obtener la constante de corrimiento de la estación observada en (u.g.). En la **Tabla II** se muestran los datos que se manejan para llevar un control detallado de cada estación observada
- Cálculo del promedio de las estaciones observadas considerando solo las que se encuentren dentro del rango establecido de ± 5.0 u.g., para obtener la constante de corrimiento del prospecto en cuestión, valor que se suma algebraicamente al archivo correspondiente en la base de datos **BASEGRA**, para su normalización ya que esta diferencia puede resultar positiva ó negativa. En la **Tabla III** se muestran los valores de las diferencias de gravedad calculadas y su correspondiente promedio para el prospecto San Marcos. En el diagrama de flujo de la **Fig.23**, se muestra la secuencia de los trabajos de campo que se siguió para este proyecto, considerando como primera etapa el corrimiento del valor de gravedad en los polígonos programados y la liga de prospectos en la vecindad de éstos polígonos, la segunda etapa es la sugerencia de realizar los correspondientes levantamientos gravimétricos después de analizar la información existente.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS

AREA:	MONCLOVA --SALTILLO
PROSPECTO:	SAN MARCOS
BASE GRAVIMETRICA DE APOYO BGP:	BGP - 41
VALOR BGP:	G = 9788754.66 u.g.
LOCALIDAD:	MONCLOVA, COAH.
GRAVEDAD OBSERVADA (IMP):	G_(IMP) = 9788435.05 u.g.
NUMERO DE ESTACION (IMP):	574
GRAVEDAD OBSERVADA (PEMEX):	G_(PEMEX) = 9788424.9 u.g.
NUMERO DE ESTACION (PEMEX):	EB - 1
DIFERENCIA DE GRAVEDAD:	10.15 u.g.
COORDENADA X (UTM):	259,546 m.
COORDENADA Y (UTM):	2,966,553 m.
MERIDIANO CENTRAL:	99°
ELEVACION:	765.77 m.s.n.m.
FECHA:	15 DE OCTUBRE DE 1995
OBSERVACIONES:	Estación en la torre de microondas del Km. 8.0 Monclova - Castaños. Se encontró placa de aluminio de la Cia. GEOEVALUACIONES

TABLA II.- Datos de estación ligada del prospecto San marcos



PEMEX
EXPLORACION
PRODUCCION



GERENCIA DE
PROSPECCION
GEOFISICA

PROYECTO

CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS CBC - 0502

CUADRO ESTADISTICO DE PROSPECTOS Y ESTACIONES BASE LIGADAS

PROSPECTO: SAN MARCOS

BASE GRAVIMETRICA PERMANENTE DE APOYO

BGP - 41 MONCLOVA, COAH.

ESTACIONES BASE LIGADAS	CONSTANTE CALCULADA (u.g.)
327	9.67
1	10.19
4	10.35
19	9.87
1648	12.03
1659	11.64
1663	10.34
1674	11.19
1685	12.60
389	10.26
CONSTANTE DE CORRIMIENTO:	+ 10.81 u.g.
OBSERVACIONES:	Se Contó con croquis de bases gravimétricas del prospecto.

TABLA III.- Promedio de estaciones ligadas del prospecto San Marcos

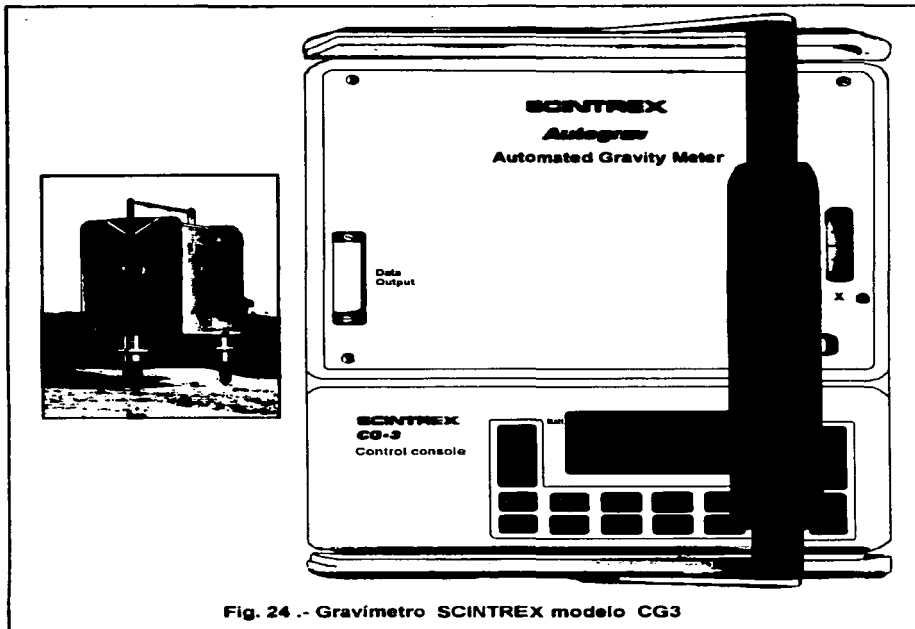


Fig. 24 .- Gravímetro SCINTREX modelo CG3

Las estaciones **SILAG** ligadas fueron las siguientes:

SILAG (9232-49) Aeropuerto -Tampico

SILAG (9676-62) Capitanía de Puerto - Tampico

SILAG (9658-62) Aeropuerto - Cd. Victoria

SILAG (9656-62) Cd. Valles

SILAG (9654-62) Hotel Quinta Chilla - Tamazunchale, S.L.P.

SILAG (9651-62) Hotel Palacio - Ixmiquilpan, Hgo.

SILAG (9714-62) Aeropuerto - Monclova, Coah.

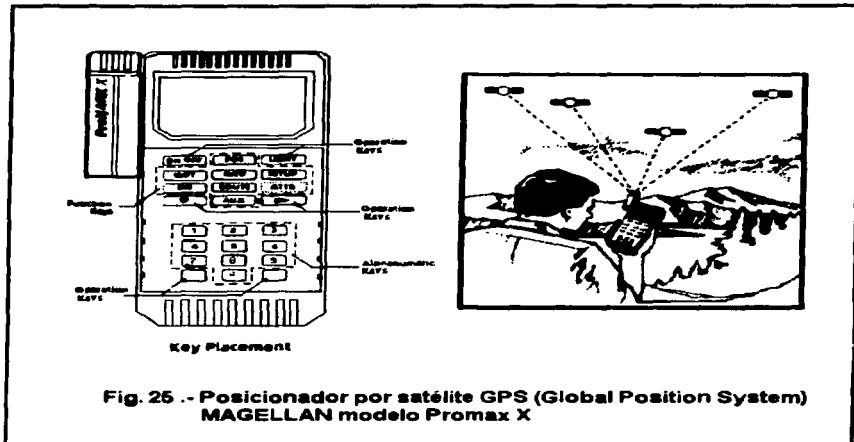


Fig. 25 .- Posicionador por satélite GPS (Global Position System) MAGELLAN modelo Promax X

V.5 Equipo Utilizado

El equipo que se utilizó para el trabajo de campo se menciona a continuación y se muestran sus respectivas figuras:

- a) Gravímetro SCINTREX MODELO CG3 Fig.24.** Las especificaciones de este gravímetro se muestran el **Tabla IV**
- b) Plancheta Electrónica SOKKISHA**
- c) Posicionador por satélite (GPS) MAGELLAN modelo PROMARK X,** que se muestra en la **Fig. 25**
- d) Camioneta Pick-Up**

AUTOGRAV CG-3 SPECIFICATIONS

Reading Resolution:	CG-3: 0.005 milligal CG-3M: 0.001 milligal
Minimum Operating Range:	7000 milligals, without resetting.
Residual Long-term Drift:	Less than 0.02 milligal/day.
Typical Repeatability in field use:	CG-3: less than 0.01 mgal standard deviation. CG-3M: less than 0.05 mGal standard deviation
Range of Automatic Tilt correction:	± 200 arc sec.
Dimensions:	240 mm x 310 mm x 320 mm.
Weight:	11 kg, including standard battery.
Power Consumption:	5 W at + 25°C.
Operating Temperature Range:	- 40°C to + 45°C. Optionally high temp. to + 55°C
Interval Between Readings in CYCLING Mode:	Adjustable from 6 to 99999 seconds
Standard Memory:	48K RAM internal solid-state memory records up to 1290 gravity observations.
Noise Rejection:	Samples of more than 4 standard deviations from the average are rejected, if this feature is selected upon initialization of the instrument.
Displayed and Recorded Data:	Corrected Gravity, Standard Deviation, Tilt about the X-axis, Tilt about the Y-axis, Gravity Sensor Temperature, Tidal Correction, Duration of Measurement, Time at start of measurement and Header Information (including date and initialization constants).
Digital Display:	80 character, 4 line LCD display.
Keypad input:	14 keys for entering all commands, co-ordinates, header and ancillary information
Real Time Clock:	Day, month, year, hour, minute and second. One second resolution, one second stability over 24 hours over the operating temperature range.
Digital Data Output:	-RS-232C serial interface. -Data outputs in 7 or 8 bit ASCII, one start, two stop bits, no parity format. -Baud rate is selectable at 110, 300, 600, 1200 and 2400 baud. -Carriage return delay is keyboard selectable in increments of one from 0 to 999. -X-ON/X-OFF handshaking protocol.

TABLA. IV.- ESPECIFICACIONES DEL GRAVIMETRO SCINTREX CG-3

VI PROCESADO Y ANALISIS DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS

VI.1 Procesamiento de datos Gravimétricos

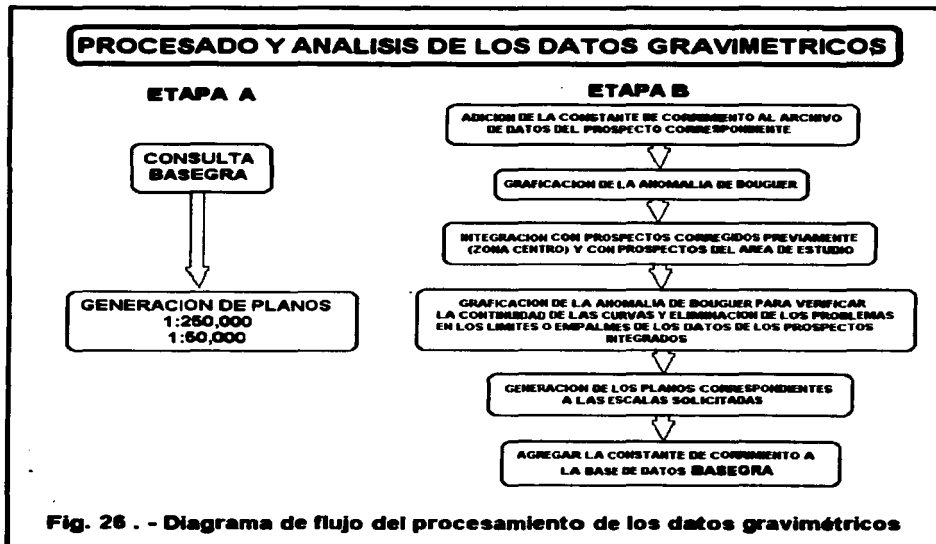
El procesamiento de datos se dividió en 2 principales etapas; la primera que ya se mencionó y que consiste de:

- a) **Generación de planos de localización de estaciones base a escala 1:250,000 y 1:50,000 de los prospectos programados para su liga que carecen de croquis de localización de sus respectivas estaciones base, con el fin de seleccionar y ubicar estas estaciones en los correspondientes planos de INEGI para su observación de campo.**

Esta etapa consistió en utilizar los archivos de los prospectos que se encuentran en la base de datos gravimétricos **BASEGRA**, trasladándolos de la computadora personal "PC" a la computadora **IBM**, donde se encuentran los programas necesarios para su proceso, tales como el de selección de estaciones base, configuración, graficación de caminamientos y posicionamiento de estaciones con las coordenadas que se requieran, en este caso se utilizaron coordenadas **UTM, Geográficas y Lambert**.

- b) **La segunda etapa consistió en adicionar a los archivos de los prospectos ligados la constante de corrimiento obtenida en los trabajos de campo, con**

un programa que se hizo para tal efecto y posteriormente graficar la **Anomalia de Bouguer** en forma individual e integrada para verificar que la constante de corrimiento adicionada sea la correcta. Estas dos etapas de trabajos de gabinete se muestran en el diagrama de flujo de la Fig. 26.



VI.2 Elaboración de planos

Esta es prácticamente la parte final del proceso, los planos se elaboraron con los archivos a los que se adicionó su correspondiente **constante de corrimiento**. Posteriormente se hizo la integración de los datos, generando a su vez una malla

de 1 Km. de espaciamiento con todos los prospectos ligados, la cual se utilizó para generar los planos a las escalas solicitadas por PEMEX sin la constante de corrimiento y con la constante de corrimiento.

En resumen, los pasos que se siguieron para la elaboración de los planos, son los siguientes:

Generación de planos sin la constante de corrimiento

- **Accesar de la base de datos gravimétricos BASEGRA los 43 archivos de los prospectos programados para este proyecto**
- **Transmitir estos archivos a la computadora IBM**
- **Generar la malla con un espaciamiento de 1.0 km**
- **Blanquear las zonas sin datos.**
- **Generación de los mapas de Anomalía de Bouguer a escalas 1:500,000 y 1:1,000,000 con intervalos de configuración de 10.0 u.g y 20.0 u.g. respectivamente**

VI.3 Generación de planos con la constante de corrimiento

- **Adición de la constante de corrimiento a cada uno de los archivos de los prospectos de este proyecto**
- **Integración de los 43 archivos**

- **Generación de malla con espaciamento a 1.0 kilómetro**
- **Blanqueo de áreas interpoladas y extrapoladas donde no existe información gravimétrica**
- **Generación de los planos con la configuración de la Anomalía de Bouguer a escalas 1:500,000 y 1:1,000,000 con intervalos de configuración de 10 y 20 u.g. respectivamente**

VII RESULTADOS

Los resultados obtenidos del desarrollo de este proyecto se pueden resumir en los siguientes incisos:

- a) Se cubrió el 100% del programa propuesto estableciendo 67 Bases Gravimétricas Permanentes (BGP), 8 Bases Gravimétricas Auxiliares y liga de 43 prospectos

- b) La información gravimétrica generada a partir de los trabajos de campo es confiable; ya que la tolerancia establecida por Petróleos Mexicanos de ± 0.5 u.g. para el cierre de los polígonos programados no se rebasó. La misma situación se consideró para el rango de variación de ± 5.0 u.g. de las estaciones ligadas de cada prospecto. Los cierres obtenidos fueron los siguientes:

Polígono I = 0.05 u.g.

Polígono II = 0.3 u.g.

Polígono III = 0.2 u.g.

Polígono IV = 0.2 u.g.

- c) Se estableció una red de Bases Gravimétricas Permanentes (BGP) con valores absolutos de gravedad sumamente confiables identificadas cada uno con una placa de aluminio y documentada con su respectiva fotografía, croquis de localización y datos de coordenadas que cubren prácticamente los

estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Nuevo León y Coahuila

- d) Se determinó la constante de corrimiento para los 43 prospectos que cubren la Porción NE de la República Mexicana**
- e) Se establecieron 14 BGP dentro ó en las cercanías de las áreas que cubren los prospectos que solo cuentan con Anomalía de Bouguer**
- f) Para mostrar los problemas en los límites de los prospectos se obtuvo un mapa de Anomalía de Bouguer integrado con la información de los 43 prospectos sin la aplicación de la constante de corrimiento como se muestra en el plano final I graficado en coordenadas Lambert (anexo)**
- g) Para observar los resultados finales de este proyecto se generaron los planos de Anomalía de Bouguer con la constante de corrimiento de los 43 prospectos integrados a escala 1:500,000 y 1:1,000,000 adicionando los prospectos colindantes de la Zona Centro para mostrar la eliminación de los problemas en los límites de los prospectos y la continuidad con la Porción NE de la República Mexicana, como se puede observar en el plano final II graficado en coordenadas Lambert (anexo)**
- h) La lista de las constantes de corrimiento de cada uno de los prospectos ligados se entregó a personal del Instituto Mexicano del Petróleo encargado de la actualización de la base de datos BASEGRA para su adición a los archivos correspondientes en las zonas de Petróleos Mexicanos donde se encuentra instalada esta base de datos**

VIII CONCLUSIONES

Conclusiones

Se concluye que los resultados obtenidos del Corrimiento de Bases Gravimétricas se ven reflejados en la configuración que se presenta en el mapa integrado (plano final II) de Anomalía de Bouguer el cual ya no presenta discontinuidad en los límites de prospectos adyacentes, ni zonas de anomalías de alta frecuencia en las áreas de traslape de información entre prospectos. Se puede apreciar una continuidad en la configuración de Anomalía de Bouguer entre los prospectos de las Zonas Poza Rica (Zona Centro) y Porción NE de la República Mexicana. Esta característica es una ventaja muy valiosa para el intérprete ya que puede trabajar cualquier área, siempre y cuando ésta contenga prospectos normalizados a una base común.

El hecho de tener toda la información gravimétrica referida a una base común de primer orden como es la base gravimétrica del Observatorio de Tacubaya de la Ciudad de México implica tener la información gravimétrica de Petróleos Mexicanos referida al Sistema Mundial de Gravedad lo cual es de suma importancia ya que esta información se puede utilizar para cualquier proyecto de investigación a nivel mundial sin ningún problema. En consecuencia en caso de que el valor de gravedad establecido para la estación del Observatorio de Tacubaya tuviera en el futuro algún ajuste debido a nuevas mediciones con equipos mas sofisticados, esta diferencia solo se adicionaría a la base de datos BASEGRA para ajustar los prospectos a ese nuevo valor.

Otra ventaja puede apreciarse indirectamente cuando el intérprete trabaja con software iterativo como el paquete LCT de la compañía (LCT Inc.) del mismo nombre con el cual se generan en forma rápida y eficaz modelos Geológico-Geofísicos del paquete sedimentario y morfología del basamento en ambientes multidisciplinarios. Este software iterativo para proceso e interpretación necesita que se tenga acceso en forma rápida y confiable a datos gravimétricos y magnéticos ya integrados.

Respecto a la red de estaciones **Base Gravimétricas Permanentes** establecidas cabe mencionar la importancia de tener un sistema confiable similar al sistema **SILAG** para apoyar los trabajos gravimétricos que se realicen en el futuro, los cuales automáticamente quedarán referidos a la base común mencionada, con la gran ventaja de tener valores de gravedad absolutamente confiables y con estaciones de fácil localización que seguramente van a perdurar por muchos años.

BASEGRA es un manejador de datos elaborado en el Instituto Mexicano del Petróleo mediante el cual se dispone de la información de todos los prospectos gravimétricos trabajados por Petróleos Mexicanos, pero esta información no aparece actualmente integrada en su totalidad, sino únicamente en las áreas que están localizados los prospectos a los que se les ha hecho el "corrimiento".

La configuración de Anomalia de Bouguer de los prospectos digitizados posee un carácter regional, no dejando de ser valiosa para la realización de trabajos interpretativos de tipo local, aunque puedan observarse áreas en donde no existe coincidencia en gradientes y tendencias con la información de prospectos más recientes. Esto abre la pauta para la realización de estudios de factibilidad para re-observar gravimétricamente estas áreas, teniendo en cuenta que la

información de estos nuevos prospectos pueda ser fácilmente manipulada para su integración con la información preexistente.

Se implementó la metodología para ligar los prospectos gravimétricos aún cuando estos no cuenten con los croquis de localización de sus respectivas estaciones base, esta metodología se sigue utilizando para ubicar los prospectos de Petróleos Mexicanos programados para su normalización en la Porción Sur y NW de la República mexicana

Como comentario final cabe mencionar que debido al éxito obtenido en el desarrollo y resultados, este proyecto continua para ligar el total de los 265 prospectos de Petróleos Mexicanos que cubren gran parte de la República Mexicana. A la fecha (Agosto de 1997) tiene cubierta la Porción Central, NE y Sur de la República Mexicana y se tiene un avance del 50% en la Porción NW de la República Mexicana.

ANEXOS

- **Relación de Estaciones Base Gravimétricas Permanentes establecidas**
- **Relación de Estaciones Base Auxiliares establecidas**
- **Relación de estaciones SILAG ligadas en la trayectoria de los polígonos programados, incluyendo sus respectivas diferencias de gravedad medidas respecto a la red de estaciones BGP establecidas por el IMP**
- **Relación de prospectos ligados con datos estadísticos por polígono**
- **Plano de configuración Gravimétrica del área estudiada sin constante de corrimiento**
- **Plano de configuración Gravimétrica del área estudiada con constante de corrimiento**



**" CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA**

ESTACIONES BASE GRAVIMETRICAS PERMANENTES ESTABLECIDAS

BASE	LOCALIDAD	GRAVEDAD (u.g.)	COORDENADAS U.T.M. (mts)
BGP-1	BASE MILITAR TUXPAN, VER.	9786857.05	X = 670,500 Y = 2,316,900
BGP-2	POZO TRES HERMANOS-127, VER.	9787220.85	X = 627,600 Y = 2,373,100
BGP-3	VERTICE GEODESICO-4298, UZULUAMA, VER.	9786961.30	X = 618,800 Y = 2,395,400
BGP-4	POZO JOBO-1	9787758.45	X = 627,200 Y = 2,436,100
BGP-4A	I.M.P. TAMPICO, TAMPS.	9787852.35	X = 620,000 Y = 2,465,400
BGP-5	VILLA ALDAMA, TAMPS.	9787869.70	X = 595,800 Y = 2,535,000
BGP-5A	PRESA REPUBLICA ESPAÑOLA, TAMPS.	9788129.50	X = 605,600 Y = 2,571,600
BGP-5B	POZO ENCARNACION-101, TAMPS.	9788073.00	X = 598,000 Y = 2,585,800
BGP-6	SOTO LA MARINA, TAMPS.	9788604.70	X = 581,000 Y = 2,629,000
BGP-6A	RANCHO EL SALINEÑO, TAMPS.	9788005.10	X = 535,600 Y = 2,615,000
BGP-7	CD. VICTORIA, TAMPS	9787507.40	X = 487,000 Y = 2,623,000
BGP-8	VILLA LLERA DE CANALES, TAMPS.	9787521.35	X = 498,000 Y = 2,578,000
BGP-9	CD. MANTE, S.L.P.	9787683.70	X = 501,400 Y = 2,515,000
BGP-9A	SAN JOSE SALVADOR, TAMPS.	9786918.80	X = 494,000 Y = 2,479,500
BGP-10	CD.VALLES, S.L.P. (CENTRO CULTURAL)	97887140.70	X = 500,000 Y = 2,427,500
BGP-10B	LA ESCALERA, S.L.P.	9786456.55	X = 500,500 Y = 2,385,800
BGP-10A	EBANO, S.L.P.	9787705.45	X = 561,500 Y = 2,544,600
BGP-11	TAMAZUNCHALE, S.L.P.	9786505.95	X = 521,200 Y = 2,351,400
BGP-12	JACALA, HGO.	9783089.30	X = 840,200 Y = 2,323,000
BGP-12A	ZIMAPAN, HGO	9781570.95	X = 465,700 Y = 2,295,000
BGP-12B	IXMIQUILPAN, HGO.	9781534.95	X = 477,500 Y = 2,264,400
BGP-13	PACHUCA (PLAZA DE TOROS VICENTE SEGURA), HGO.	9779816.70	X = 524,000 Y = 2,221,400
BGP-14	TULANCINGO, HGO.	9780303.30	X = 566,000 Y = 2,220,400



**" CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA**

ESTACIONES BASE GRAVIMÉTRICAS PERMANENTES ESTABLECIDAS

BASE	LOCALIDAD	GRAVEDAD (u.g.)	COORDENADAS U.T.M. (mts)	
			X =	Y =
BGP-15	VILLA AVILA CAMACHO, PUE.	9785530.80	X = 617,000	Y = 2,254,400
BGP-16	CADEREYTA, QRO.	9780774.80	X = 426,040	Y = 2,290,850
BGP-17	SAN JUAN DEL RIO, QRO.	9780724.05	X = 396,075	Y = 2,254,680
BGP-18	QUERETARO, QRO	9781122.08	X = 356,000	Y = 2,275,700
BGP-18A	SAN LUIS DE LA PAZ, GTO.	9781226.30	X = 343,000	Y = 2,356,000
BGP-19	CELAYA, GTO	9781361.76	X = 310,300	Y = 2,270,150
BGP-19A	SAN MIGUEL ALLENDE, GTO.	9781202.32	X = 318,200	Y = 2,313,700
BGP-20	IRAPUATO, GTO.	9781542.62	X = 254,600	Y = 2,288,600
BGP-21	GUANAJUATO, GTO.	9781026.13	X = 267,000	Y = 2,323,600
BGP-22	DOLORES HIDALGO, GTO.	9781222.66	X = 298,150	Y = 2,340,050
BGP-23	SAN FELIPE TORRES MOCHAS, GTO.	9780886.29	X = 270,400	Y = 2,375,600
BGP-23A	OCAMPO, GTO.	9780675.45	X = 243,525	Y = 2,395,750
BGP-24	VILLA DE REYES, S.L.P.	9781927.90	X = 300,000	Y = 2,412,500
BGP-25	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	9781977.01	X = 928,260	Y = 2,450,600
BGP-25A	AHUALULCO, S.L.P.	9782197.84	X = 276,950	Y = 2,478,500
BGP-25B	RIO VERDE, S.L.P.	9784408.10	X = 396,550	Y = 2,426,175
BGP-25C	SALINAS HIDALGO, S.L.P.	9781712.34	X = 220,600	Y = 2,502,500
BGP-25D	VILLA SANTO DOMINGO, S.L.P.	9782448.81	X = 220,325	Y = 2,581,750
BGP-26	VILLAS HIDALGO, S.L.P.	9782947.66	X = 326,900	Y = 2,483,100
BGP-27	EL HUIZACHE, S.L.P.	9783923.87	X = 350,550	Y = 2,536,200
BGP-28	MONUMENTO TROPICO DE CANCER, S.L.P.	9783916.13	X = 335,900	Y = 2,594,200
BGP-29	MATEHUALA, S.L.P.	9783751.05	X = 332,500	Y = 2,614,375
BGP-29A	DR. ARROYO, N.L.	9783580.45	X = 379,900	Y = 2,618,200



**"CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA**

ESTACIONES BASE GRAVIMETRICAS PERMANENTES ESTABLECIDAS

BASE	LOCALIDAD	GRAVEDAD (u.g.)	COORDENADAS U.T.M. (mts)	
			X =	Y =
BGP-30	SAN ROBERTO, N.L.	9784042.79	X = 369,000	Y = 2,730,000
BGP-30A	CONCEPCION DEL ORO, ZAC.	9783565.23	X = 255,000	Y = 2,724,500
BGP-31	LINARES, N.L.	9788173.61	X = 443,000	Y = 2,749,500
BGP-31A	U.A.N.L., LINARES, N.L.	9788498.21	X = 460,000	Y = 2,752,500
BGP-31B	MONTEMORELOS, N.L.	9788088.41	X = 416,930	Y = 2,785,860
BGP-32	VILLA HIDALGO, TAMPS.	9787480.14	X = 455,540	Y = 2,681,485
BGP-33	SANTANDER J., TAMPS.	9788878.16	X = 552,210	Y = 2,677,537
BGP-34	SAN FERNANDO, TAMPS.	9789118.41	X = 584,912	Y = 2,748,359
BGP-35	MATAMOROS, TAMPS.	9790181.18	X = 649,091	Y = 2,857,452
BGP-36	REYNOSA, TAMPS.	9789768.53	X = 572,017	Y = 2,884,392
BGP-37	CD. MIER, TAMPS.	9790136.88	X = 485,380	Y = 2,922,200
BGP-38	NVO. LAREDO, TAMPS.	9790623.85	X = 448,352	Y = 3,035,546
BGP-39	PIEDRAS NEGRAS, COAH.	9791393.25	X = 348,508	Y = 3,172,070
BGP-40	SABINAS, COAH.	9790379.16	X = 289,844	Y = 3,084,672
BGP-41	MONCLOVA, COAH.	9788756.11	X = 259,253	Y = 2,976,667
BGP-42	KILOMETRO 102 CARRETERA MONCLOVA- MONTERREY	9788277.94	X = 304,218	Y = 2,923,019
BGP-42A	EJIDO CALIFORNIA, N.L.	9788107.97	X = 336,785	Y = 2,884,088
BGP-43	MONTERREY, N.L.	9788223.74	X = 370,650	Y = 2,851,635
BGP-43A	CERRALVO, N.L.	9789590.11	X = 436,480	Y = 2,885,763
BGP-44	SALTILLO, COAH.	9785116.49	X = 310,110	Y = 2,815,00
BGP-45	SAN RAFAEL, N.L.	9784185.57	X = 343,006	Y = 2,769,241

**"CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA"**

ESTACIONES BASE GRAVIMETRICAS AUXILIARES ESTABLECIDAS

BASE	LOCALIDAD	GRAVEDAD (u.g.)	COORDENADA U.T.M. (mts)
AUX-1	Km. 15 CARRETERA NARANJOS-UZULUAMA, VER.	9787404.82	X = 627,600 Y = 2,373,100
AUX-2	TAMPICO EL ALTO, VER.	9787778.05	X = 623,700 Y = 2,445,400
AUX-3	ESC. NAUTICA MERCANTE DE TAMPICO, TAMPS.	9787847.70	X = 619,000 Y = 2,461,500
AUX-4	ESTACION MANUEL, TAMPS.	9788043.65	X = 571,200 Y = 2,513,500
AUX-5	BACHILLERATO DE XICOTENCATL, TAMPS.	9787763.80	X = 497,400 Y = 2,535,800
AUX-6	ZACUALTIPAN, HGO.	9787113.55	X = 535,800 Y = 2,262,600
AUX-7	VENADOS, HGO.	9782569.50	X = 534,400 Y = 2,263,400
AUX-8	CRUCERO CARRETERA GRO.-S.L.P.-VILLA DE REYES (S.L.P.)	9781962.96	X = 312,600 Y = 2,430,100
AUX-9	LA HERRADURA, S.L.P.	9781943.96	X = 218,540 Y = 2,594,125
AUX-10	Km. 135 CARRETERA S.L.P.-MATEHUALA	9784052.87	X = 344,000 Y = 2,560,700
AUX-11	SANTA ANA, N.L.	9783953.75	X = 359,595 Y = 2,665,449



**"CORRIMIENTO DE BASES GRAVIMETRICAS EN LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA"**

ESTACIONES GRAVIMETRICAS DEL SISTEMA SILAG LIGADAS

BASE	LOCALIDAD	GRAVEDAD (u.g.)	DIF. (u.g.)	COORDENADAS U.T.M. (mts)
0 8227J	AEROPUERTO DE TAMPICO, TAMS. (DESTRUIDA).	G = 9787820.40 G(IMP)= 9787832.85	12.45	X= 617,400 Y= 2,465,800
9676 - 62	CAPITANIA DE PUERTO TAMPICO, TAMS. (DESTRUIDA)	G = 9787840.60 G(IMP)= 9787853.45	12.85	X= 619,300 Y= 2,465,800
9657 - 62	AEROPUERTO CD. VICTORIA, TAMS. (ACTIVA)	G = 9787715.50 G(IMP)= 9787727.95	12.45	X= 504,500 Y= 2,622,800
9657 - 62	CD. VALLES, S.L.P. (DESTRUIDA).	G = 9787127.80 G(IMP)= 9787139.30	11.5	X= 499,500 Y= 2,430,200
9656 -62	TAMAZUNCHALE, S.L.P. (DESTRUIDA)	G = 9786446.40 G(IMP)= 9786458.30	11.9	X= 520,700 Y= 2,351,200
9651 . 62	IXMIQUILPAN, HGO. (ACTIVA)	G = 9781534.40 G(IMP)= 9781533.95	10.45	X= 477,500 Y= 2,264,400
9714 - 62	AEROPUERTO MONCLOVA, COAH. (DESTRUIDA)	G = 9788984.40 G(IMP)= 9788994.66	10.26	X= 255,5750 Y= 2,983,9750

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



CUADRO ESTADISTICO DEL POLIGONO DE CONTROL I

PROSPECTOS LIGADOS	BASES LIGADAS	DIF. MIN (u.g)	DIF. MAX) (u.g.)	CONSTANTE (u.g.)	PROSPECTOS CON CROQUIS	PROSPECTOS SIN CROQUIS	BGP DE REFERENCIA
SOTO LA MARINA SAN JOSE DE LAS RUSIAS	11	-185.5	-179.7	-181.84		X	BGP - 4A
TULILLO	8	7.3	14.1	9.7		X	BGP - 4A
JAUMAVE	10	-183.4	-181.45	-182.3	X		BGP - 7
EL NARANJO	13	-185.25	-173.6	-182.6	X		BGP - 9
VALLES TAMAZUNCHALE	9	-184.05	-182.1	-182.4	X		BGP - 10
MANTE TANTOYUCA	11	2.7	13.55	13.3	X		BGP - 10
XILITLA	7	15.0	17.50	16.5	X		BGP - 11
AMPLIACION XILITLA	6	16.10	18.15	16.5	X		BGP - 11
JACALA I	14	13.4	21.4	17.81	X		BGP - 12B
JACALA II	13	13.85	23.0	17.32	X		BGP - 12
HUEJUTLA	5	11.25	17.05	13.79	X		BGP - 11
SUR DE HUEJUTLA	5	15.35	19.65	18.11	X		BGP - 11
NORTE DE HUAYACOCOTLA	8	17.45	21.8	19.95	X		BGP - 13A
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES					15		
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES AUXILIARES					7		
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS LIGADOS					13		



CUADRO ESTADISTICO DEL POLIGONO DE CONTROL II

PROSPECTOS LIGADOS	BASES LIGADAS	DIF. MIN (u.g.)	DIF. MAX (u.g.)	CONSTANTE (u.g.)	PROSPECTOS CON CROQUIS	PROSPECTOS SIN CROQUIS	BGP DE REFERENCIA
SW DE JALPAN	7	-180.05	172.05	-174.8		X	BGP - 12A
GUAMUCHIL	9	-175.85	-173.4	-174.8		X	BGP - 16
SAN LUIS DE LA PAZ	16	-182.24	-170.0	-175.6		X	BGP - 18A
SAN MIGUEL ALLENDE	22	-180.08	-175.47	-177.5	X		BGP - 19A
GUANAJUATO	12	9.34	55.85	12.68	X		BGP - 12
OCAMPO	15	14.69	21.21	17.25		X	BGP - 23A
MOJARRAS	11	-176.85	-174.55	-176.0	X		BGP - 23
GUAXCAMA-TOLENTINO	8	-136.64	-134.39	-135.66		X	BGP - 25
RIO VERDE	13	-183.25	-178.82	-180.89	X		BGP - 25B
LOC. TANGAMANGA	11	4.95	9.99	7.0	X		BGP - 25
SW DE SAN LUIS POTOSI	16	4.94	22.61	12.66		X	BGP - 25
LAGUNA SECA	13	180.49	-172.89	-173.76		X	BGP - 25D
LA CONCEPCION	11	-177.13	-173.42	-175.83	X		AUX - 9
TULA TAMAULIPAS	9	-180.78	-172.90	-175.17	X		BGP - 29A
VILLA GRAN S.L.P.	11	-184.39	-176.36	-181.84	X		BGP - 31
SANTA ROSA N.L.	13	-177.82	-172.56	-175.82	X		BGP - 29
COMPILACION MATEHUALA	21	211.39	232.61	220.06		X	BGP - 29
SAN TIBURCIO	19	20.22	30.13	23.92		X	BGP - 30A
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES							17
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES AUXILIARES							12
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS LIGADOS							18



CUADRO ESTADISTICO DEL POLIGONO DE CONTROL III

PROSPECTOS LIGADOS	BASES LIGADAS	DIF. MIN (u.g.)	DIF. MAX (u.g.)	CONSTANTE (u.g.)	PROSPECTOS CON CROQUIS	PROSPECTOS SIN CROQUIS	BGP DE REFERENCIA
CUADRANGULO 24099	14	-128.51	98.52	-113.59		X	BGP - 31
CUADRANGULO 25099	16	-126.16	-118.94	-121.6		X	BGP - 31B
EL BARRETAL	12	14.52	11.90	13.23	X		BGP - 7
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES						7	
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES AUXILIARES							
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS LIGADOS						3	

CUADRO ESTADISTICO DEL POLIGONO DE CONTROL IV

PROSPECTOS LIGADOS	BASES LIGADAS	DIF. MIN (u.g.)	DIF. MAX (u.g.)	CONSTANTE (u.g.)	PROSPECTOS CON CROQUIS	PROSPECTOS SIN CROQUIS	BGP DE REFERENCIA
CUADRANGULO 26099	13	-120.01	-126.47	-123.72		X	BGP - 36
CUADRANGULO 27099	10	-128.81	-136.61	-132.57		X	BGP - 38
CUADRANGULO 27100	15	-125.34	-136.46	-132.43		X	BGP - 38
CUADRANGULO 28100	13	-128.55	-133.53	-130.57		X	BGP - 39
CUADRANGULO 25100	10	-119.18	-121.48	-120.19		X	BGP - 43
CUADRANGULO 26101	10	-119.11	-121.22	-120.47		X	BGP - 41
CUADRANGULO 26100	6	-119.25	-122.03	-120.48		X	BGP - 41
PROSPECTO MINA	8	4.82	6.37	5.27	X		BGP - 43
PROSPECTO SAN MARCOS	9	9.67	12.03	10.81	X		BGP - 41
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES						6	
BASES GRAVIMETRICAS PERMANENTES AUXILIARES							
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS LIGADOS						9	

BIBLIOGRAFIA

- Barnes D.F., Oliver H. W. and Robbins S.L.
Standardization of Gravimeter Calibrations in the Geological Survey
Trans. Amer. Geophys. Union, 50, 526 – 627, 1969.

- Behrendt J. C. and Woollard G. P.
An evaluation of the gravity control network in North America
Geophysics, 26, p. 57 –76, 1961.

- Bureau Gravimétrique International.
No. 17 Bulletin d' information, Decembre 1967, 39ter Rue Gay Lussac, Paris.

- De la Cruz Reyna, Mena M. And Espíndola J.M.
Observed Gravity Change in the epicentral area of the Oaxaca, México 1978
earthquake : Earthquake Prediction, Research V.2 p. 147 – 167, 1986.

- De la Fuente, M. Aitken, C., and Mena M.
Cartas Gravimétricas de la República Mexicana :
Publ. UNAM, 1994, México, D. F.

- De la O Carreño.
Cartas de Anomalías de Gravedad en la República Mexicana :
Ingeniería Hidráulica en México, SAH. Vol. 3 Núm. 4,
pags. 1 – 16, México, D.F.

- **González G. Eduardo**
Base de datos gravimétricos (BASEGRA)
Instituto Mexicano del Petróleo, División de Métodos Potenciales, 1973.

- **Gravity Anomaly Map of North America**
By the Committee for the Gravity Anomaly Map of North America, 1987.

- **LaCoste & Romberg, INC.**
Instruction Manual, Model G. Land Gravity Meter

- **LaCoste & Romberg, INC.**
Ms Dos Programs for the Reduction and Interpretation of Gravity Survey Data

- **LCT, Inc. Houston, Tx. U.S.A.**
Data Processing System for Line Oriented Gravity & Magnetics Data
Version 2.7 User's Manual September, 1995.

- **Magellan Systems Corporation**
Magellan GPS ProMark X, User Guide

- **L. L. Nettleton**
Geophysical Prospecting for Oil
McGraw – Hill Book Company, Inc. New York and London 1940.

- **Mena Manuel, Monges Julio, González T. y Martínez M.**
Avances en la elaboración de la carta gravimétrica para la Porción Meridional
de la República Mexicana : Anales del Instituto de Geofísica, Vol. 26, 1980,
UNAM, México D.F.

- **Mena Jara Manuel, Grivel F. And Monges J.**
Gravimetric changes and anomalous variations of the mean sea level during the november 29, 1978 earthquake : Geofísica Internacional, Vol. 17 No. 3 1977 - 1978, UNAM, México, D.F.

- **Mc. Connell, Winter J., Geller R.F. et al**
Red Latinoamericana de Normalización de Gravedad 1977 (RELANG77), March, 1979.

- Monges Caldera J.**
Red de estaciones gravimétricas básicas en la República Mexicana
Anales del Instituto de Geofísica, Vol. 11, p 5 - 25 , 1966, UNAM, México, D.F.

- **Monges Caldera J. Y Mena Jara Manuel**
Nueva red de estaciones gravimétricas básicas en la Parte Norte de la República Mexicana : Anales del Instituto de Geofísica, Vol. 12, 1970 UNAM, México, D.F.

- **Monges Caldera J., Mena Jara M., Martínez Barrios M., Salyano Jaramillo E. y Rojas Arriaga M.**
Historia de la gravimetría en Mexico.
Anales del Instituto de Geofísica, 1973, UNAM, México, D. F.

- **Paquetín Eduardo**
Proyección cónica conforme Lambert, Revista de Ingeniería Hidráulica en México. julio - agosto - septiembre, 1956.

---...Petróleos Mexicanos

Informes finales de los estudios gravimétricos que cubre la Porción NE de la República Mexicana (37 Informes finales de proyectos gravimétricos) propiedad De Petróleos mexicanos.

Archivo de PEMEX.

-- Petróleos Mexicanos

Corrimientos de gravedad de la Zona Centro, Brigada gravimétrica PRgr – 4, 1990 : Núm. Pr – igfco – 2007, Informe final de operación gravimétrica.

Archivo de PEMEX.

-- Raisz Erwin

Cartografía General 6ª. Edición, Editorial Omega

-- R. K. Mc. Connell, P. J. Winter & R. F. Geller

**Red Latinoamericana de Normalización de Gravedad 1977 (RELANG77)
Earth Physics Branch, Ottawa, Canada.**

Servicio Geodésico Interamericano, Panamá, C. Z. March 1979.

-- Secretaría de Programación y Presupuesto

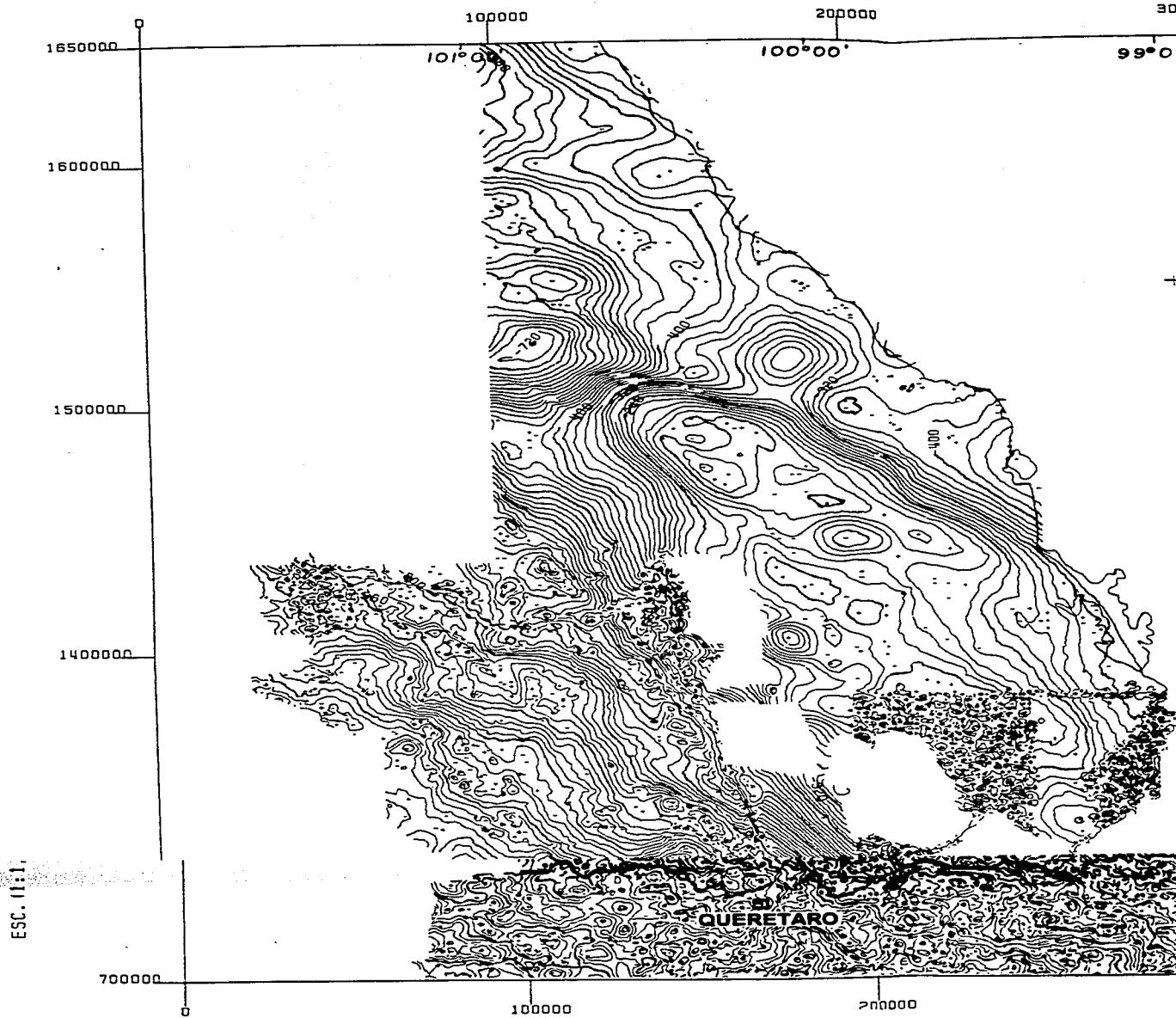
Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística Geografía e Informática : Manual de Normas, Especificaciones y Metodologías para Gravimetría. Manual No. 1 (1ª parte: Campo) México, D. F., 1982.

-- S. K. Singh, Mena M. & Monges J.

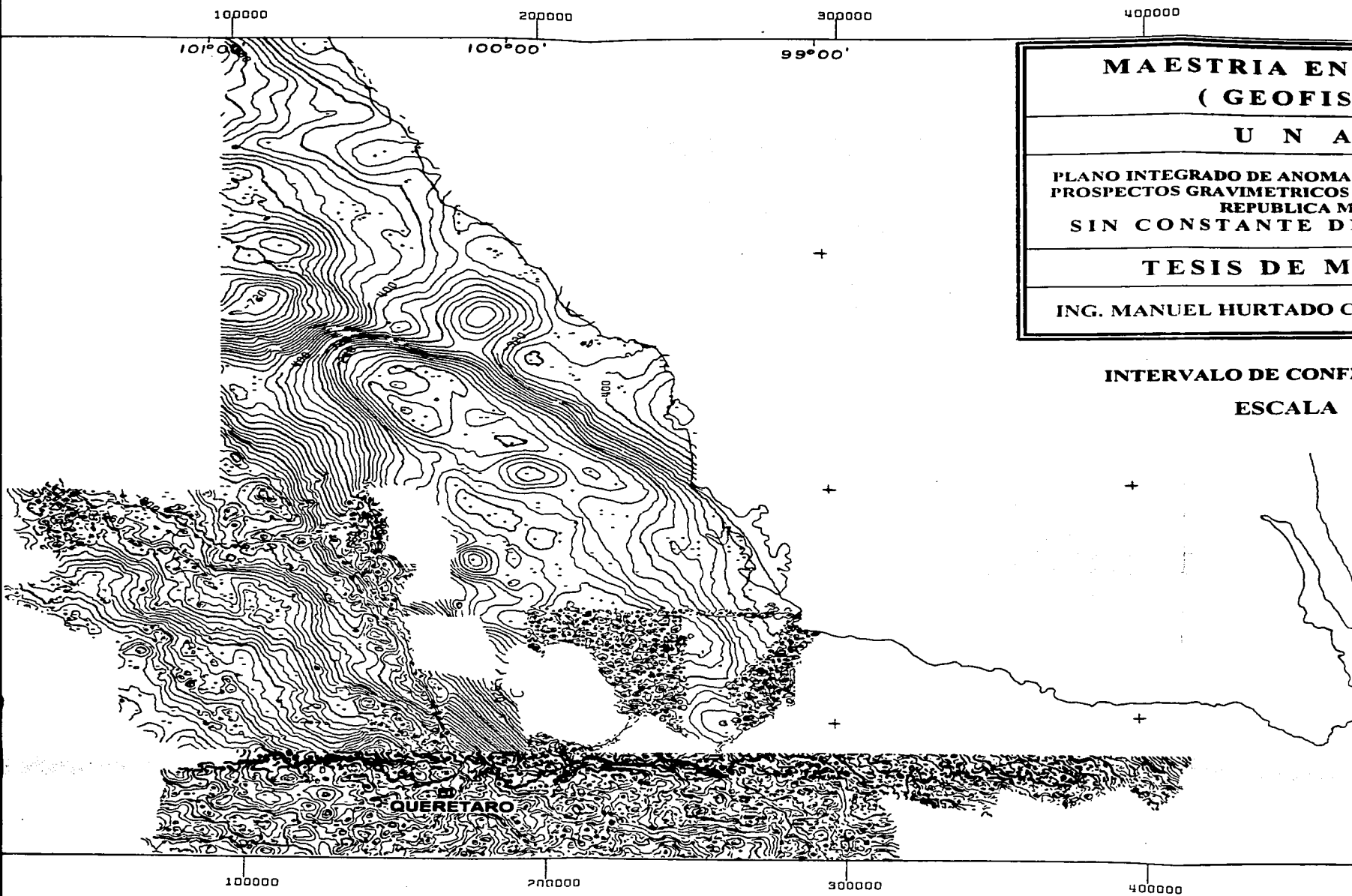
Secular variation of Gravity in México

Geophysical Research Letters, Vol. 6, No. 6, June 1979.

- **T. R. La Fehr**
Gravity and Magnetic Exploration : Instituto Mexicano del Petróleo, sep. 1976.
- **Urrutia Fucugauchi J. & Flores – Ruiz J. Hernan**
Bouguer Gravity Anomalies and Regional Crustal Structure in Central México
International Geology review, Vol. 38, p. 176 – 194, 1996.
- **Walter W. Hays**
Interpretation of Gravity Data : U.S. Geological Survey
open file report p. 76 – 479, 1976.
- **Wayne Schellhorn R., L. V. Aiken Carlos, De la Fuente M.**
Bouguer Gravity Anomalies and Crustal Structure in Northwestern México.
Society of Exploration Geophysicist. 1987
- **Woollard G. P.**
The new gravity system changes in international gravity base values and
anomaly values : Society of Exploration Geophysicist Vol. 44, No. 8,
p. 1352 – 1366, august 1979
- **Woollard G. P., Machesky L. and Monges Caldera J.**
A regional gravity survey of Northern México and the relation of Bouguer
Anomalies to regional geology and elevation in Mexico, july 15, 1969,
Final Report, Hawaii Institute of Geophysics, University of Hawaii.
- **Woollard G. P. and Rose J. C.**
International Gravity Measurements : Sp. Publ., SEG, Tulsa, 1963.



PLANO I.- SIN CONSTA



**MAESTRIA EN
(GEOFIS**

U N A

**PLANO INTEGRADO DE ANOMA
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS
REPUBLICA M
SIN CONSTANTE D**

TESIS DE M

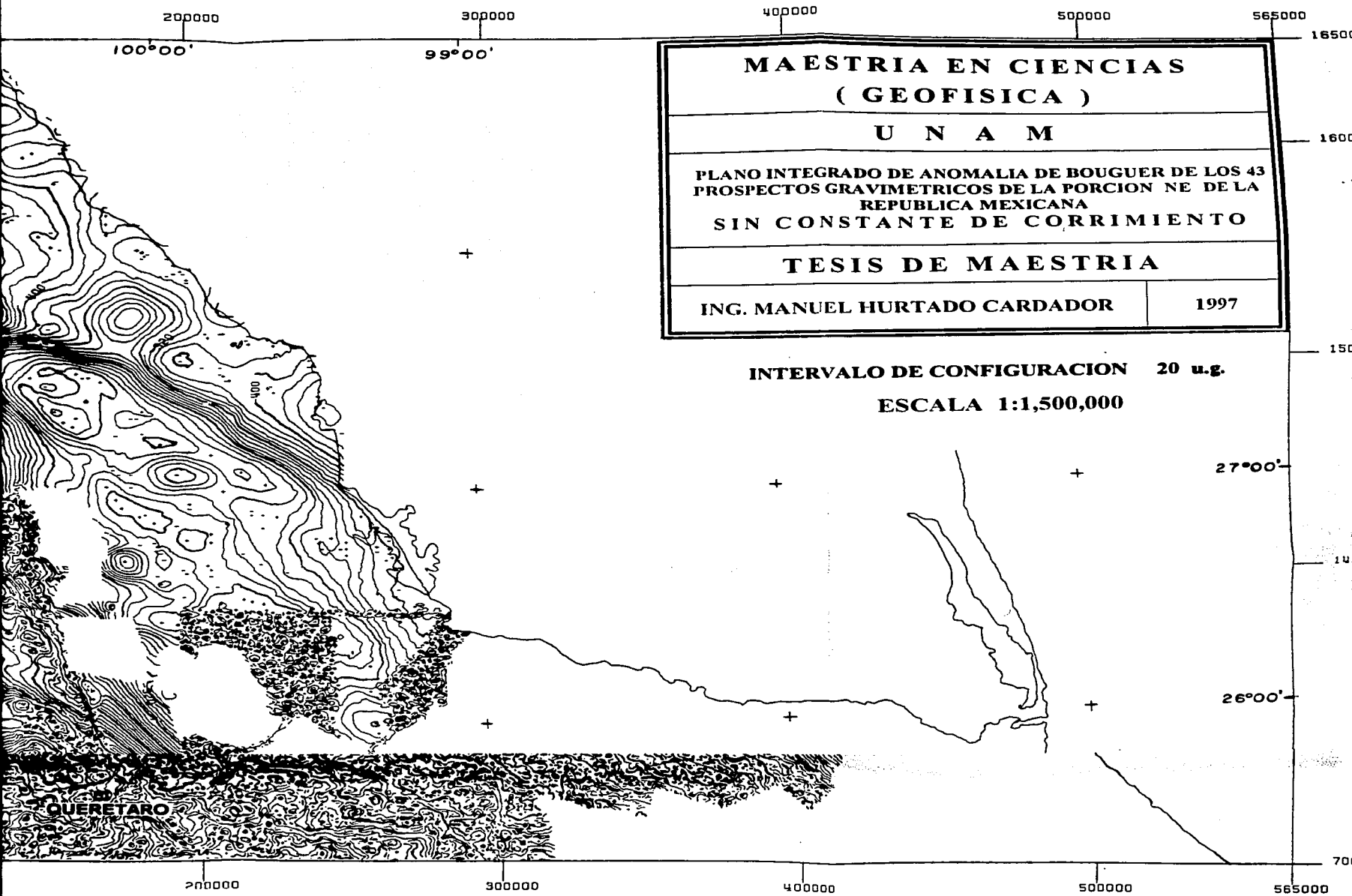
ING. MANUEL HURTADO C

INTERVALO DE CONF

ESCALA

QUERETARO

PLANO I.- SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO



**MAESTRIA EN CIENCIAS
(GEOFISICA)**

U N A M

**PLANO INTEGRADO DE ANOMALIA DE BOUGUER DE LOS 43
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS DE LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA
SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO**

TESIS DE MAESTRIA

ING. MANUEL HURTADO CARDADOR

1997

INTERVALO DE CONFIGURACION 20 u.g.

ESCALA 1:1,500,000

PLANO I.- SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO

300000
99°00'

400000

500000

565000

1650000

**MAESTRIA EN CIENCIAS
(GEOFISICA)**

U N A M

**PLANO INTEGRADO DE ANOMALIA DE BOUGUER DE LOS 43
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS DE LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA
SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO**

TESIS DE MAESTRIA

ING. MANUEL HURTADO CARDADOR

1997

1600000

INTERVALO DE CONFIGURACION 20 u.g.

ESCALA 1:1,500,000

1500000

27°00'

1400000

26°00'

700000

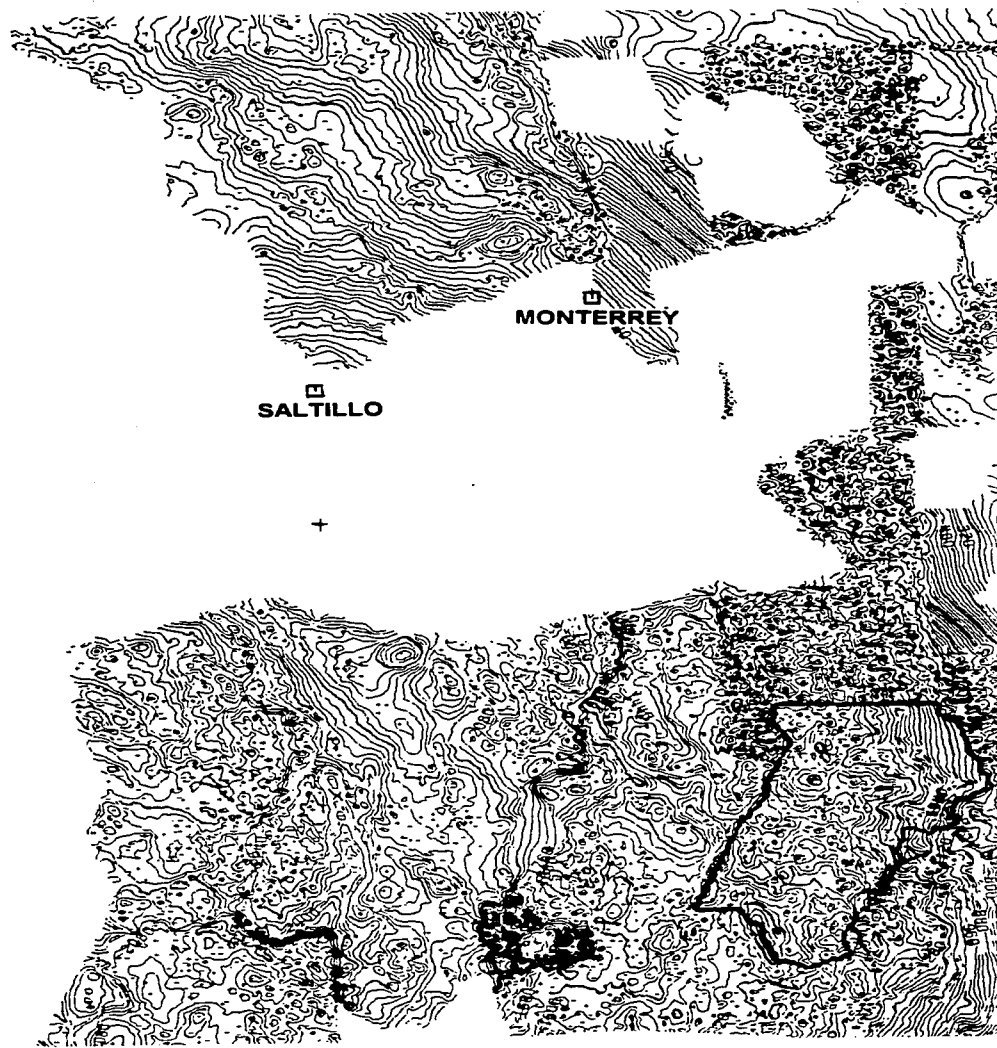
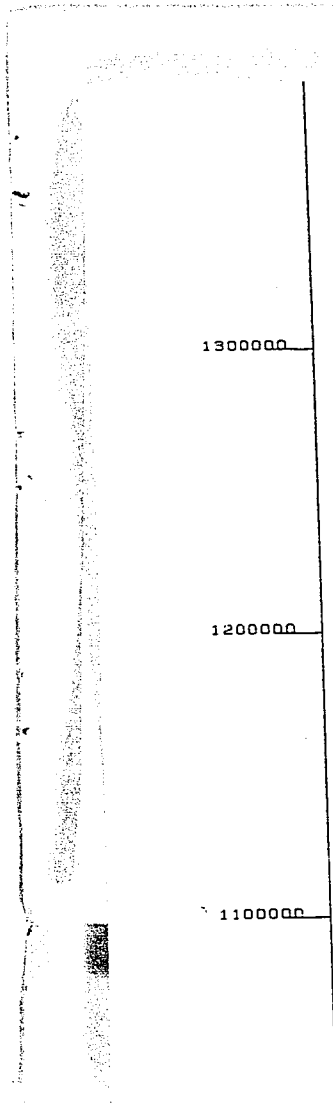
300000

400000

500000

565000

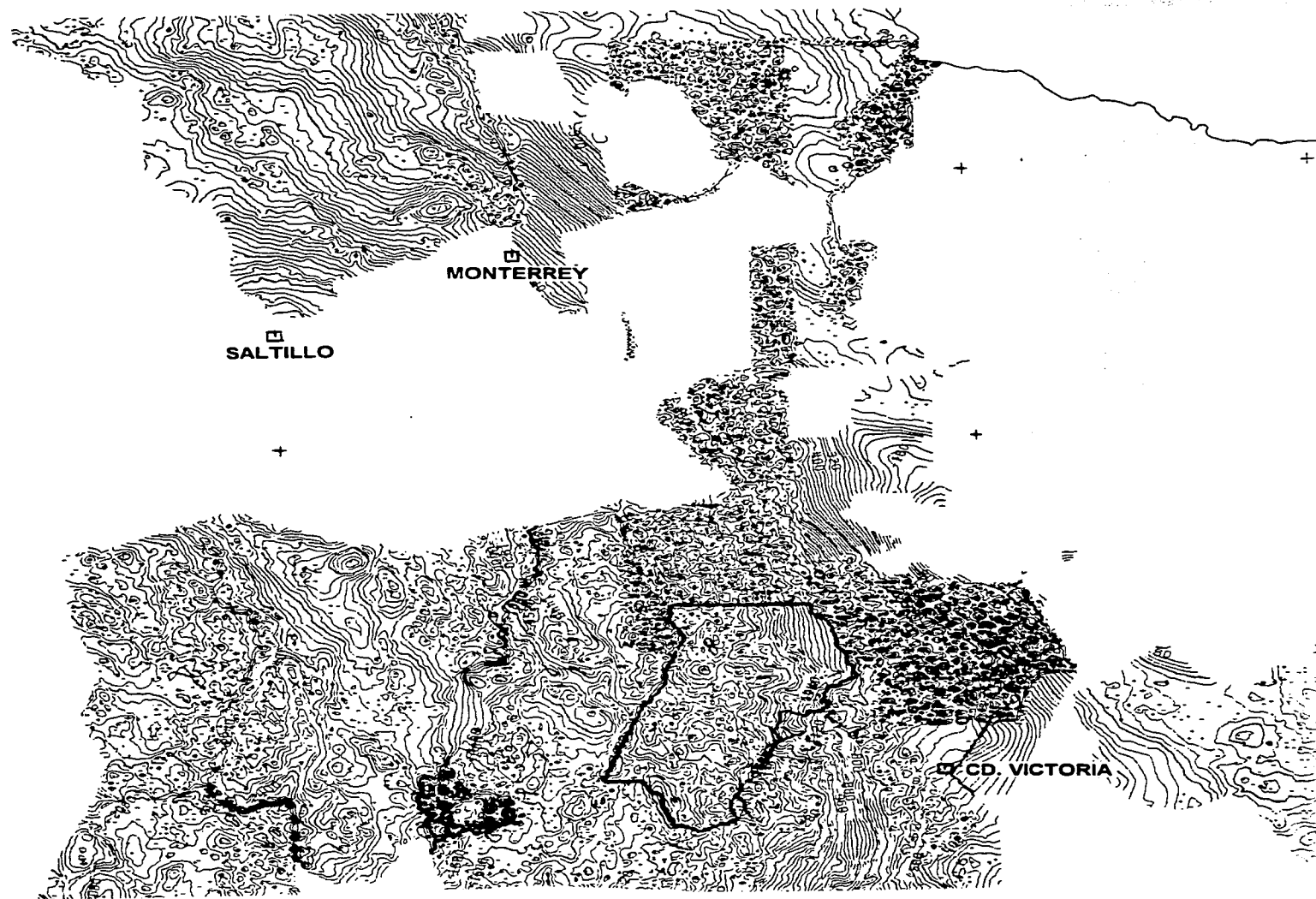
SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO



1300000

1200000

1100000

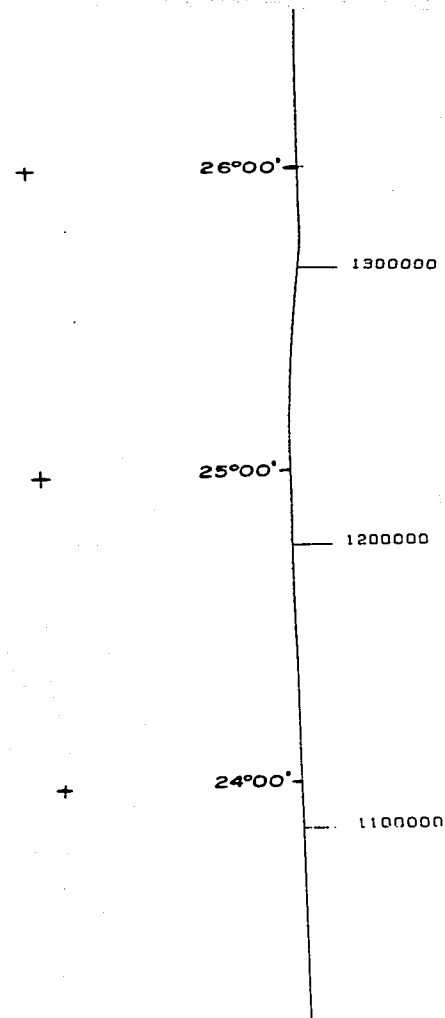


SALTILLO

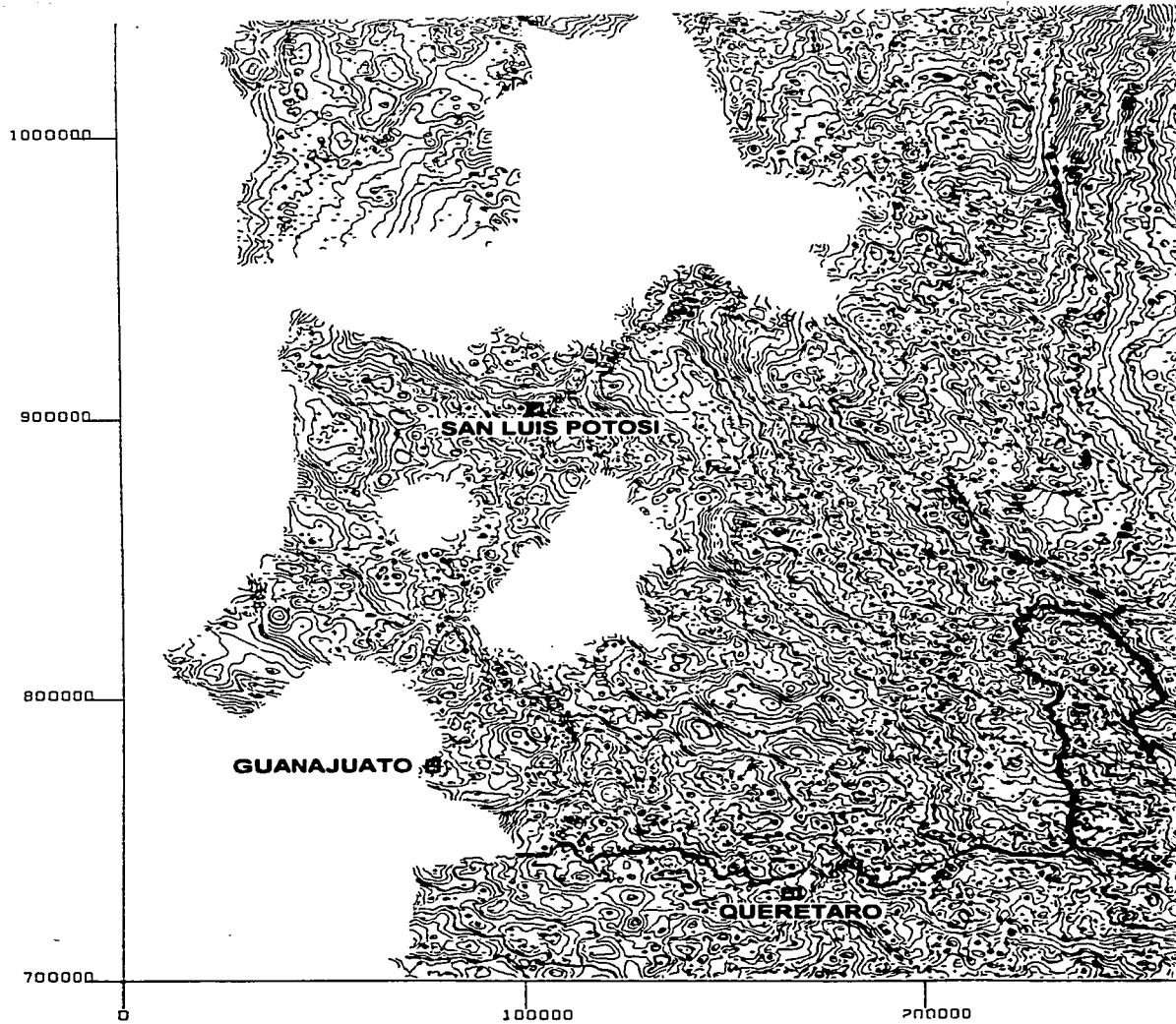
MONTERREY

CD. VICTORIA

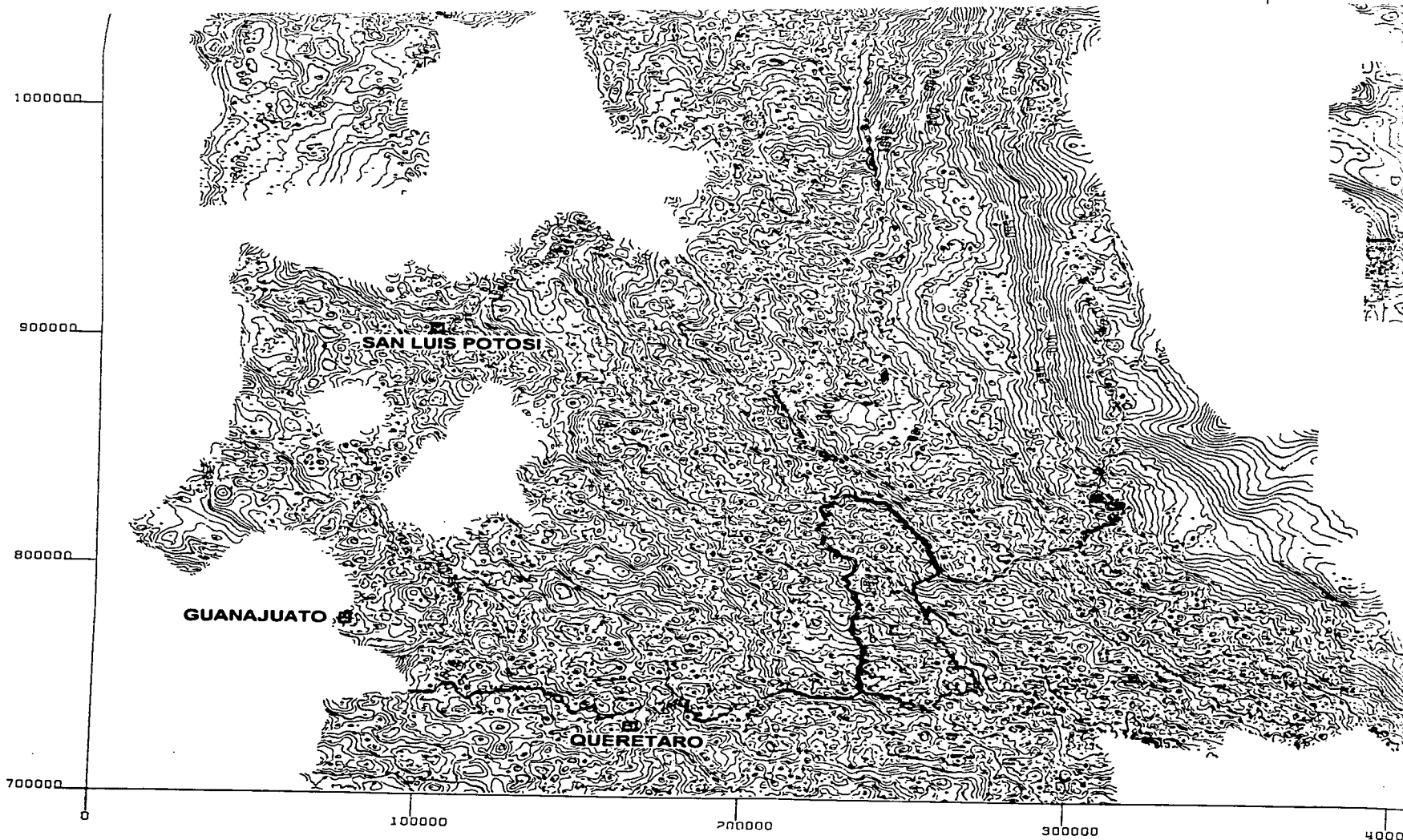




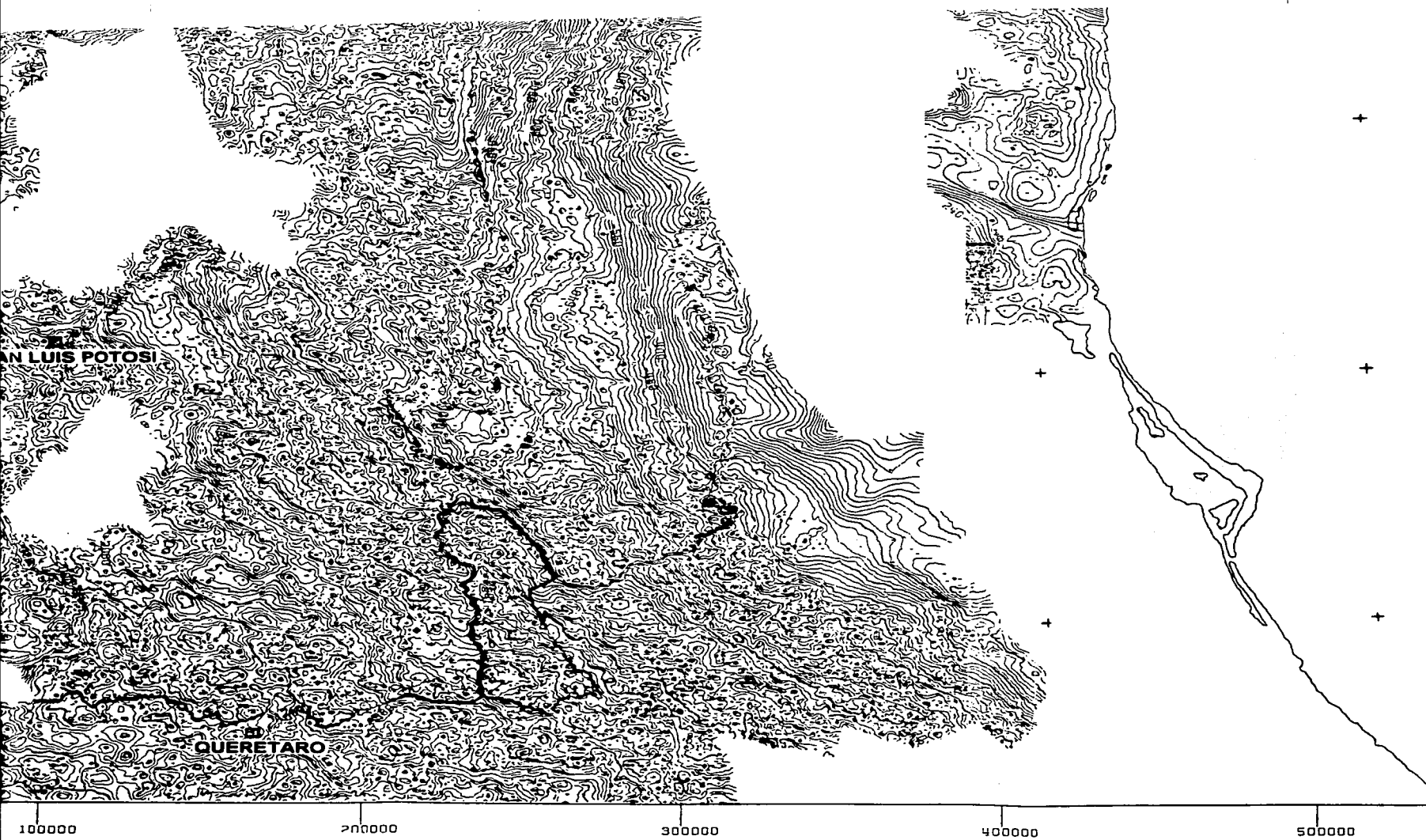
ESC. (1:1,500,000)



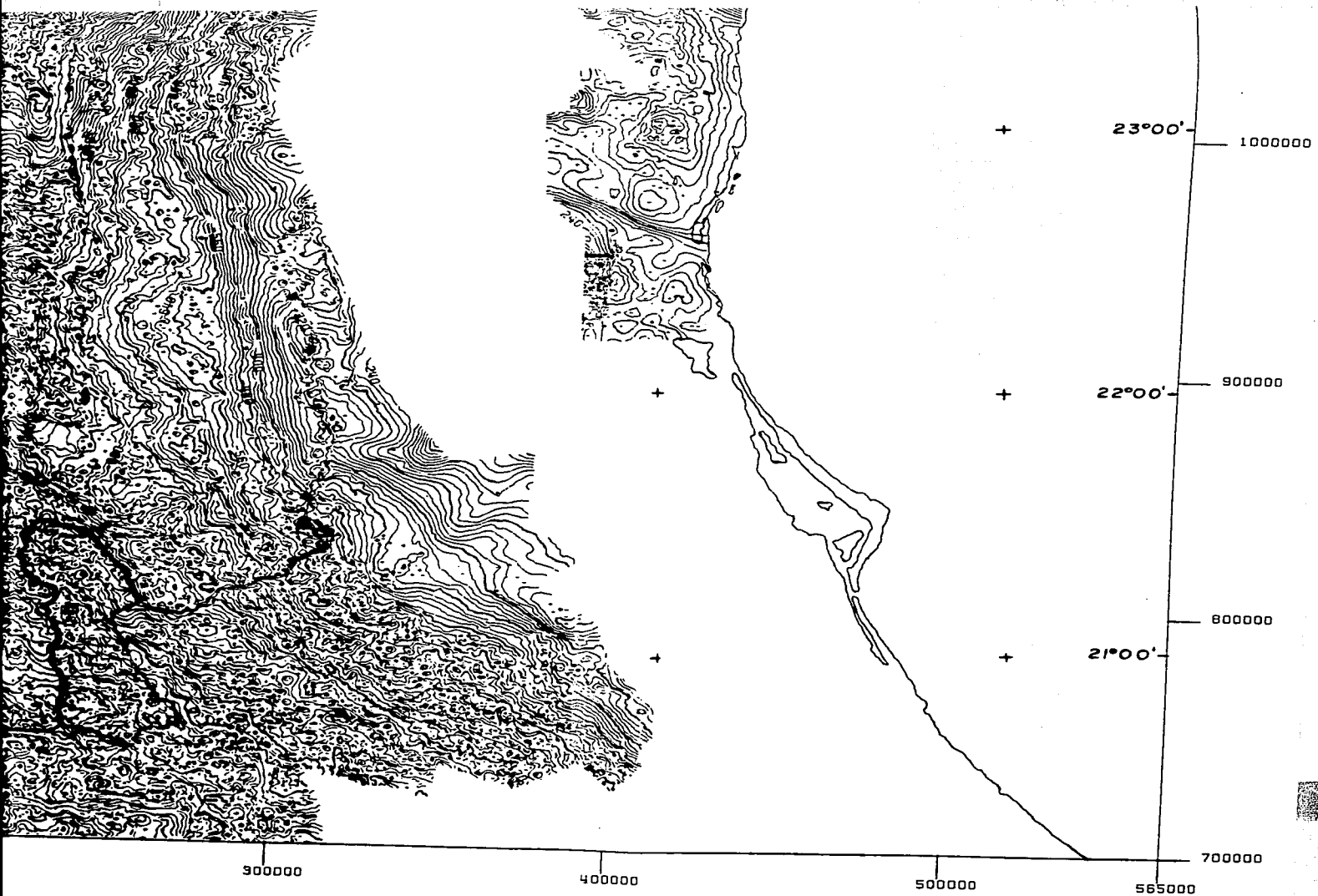
PLANO I.- SIN CON



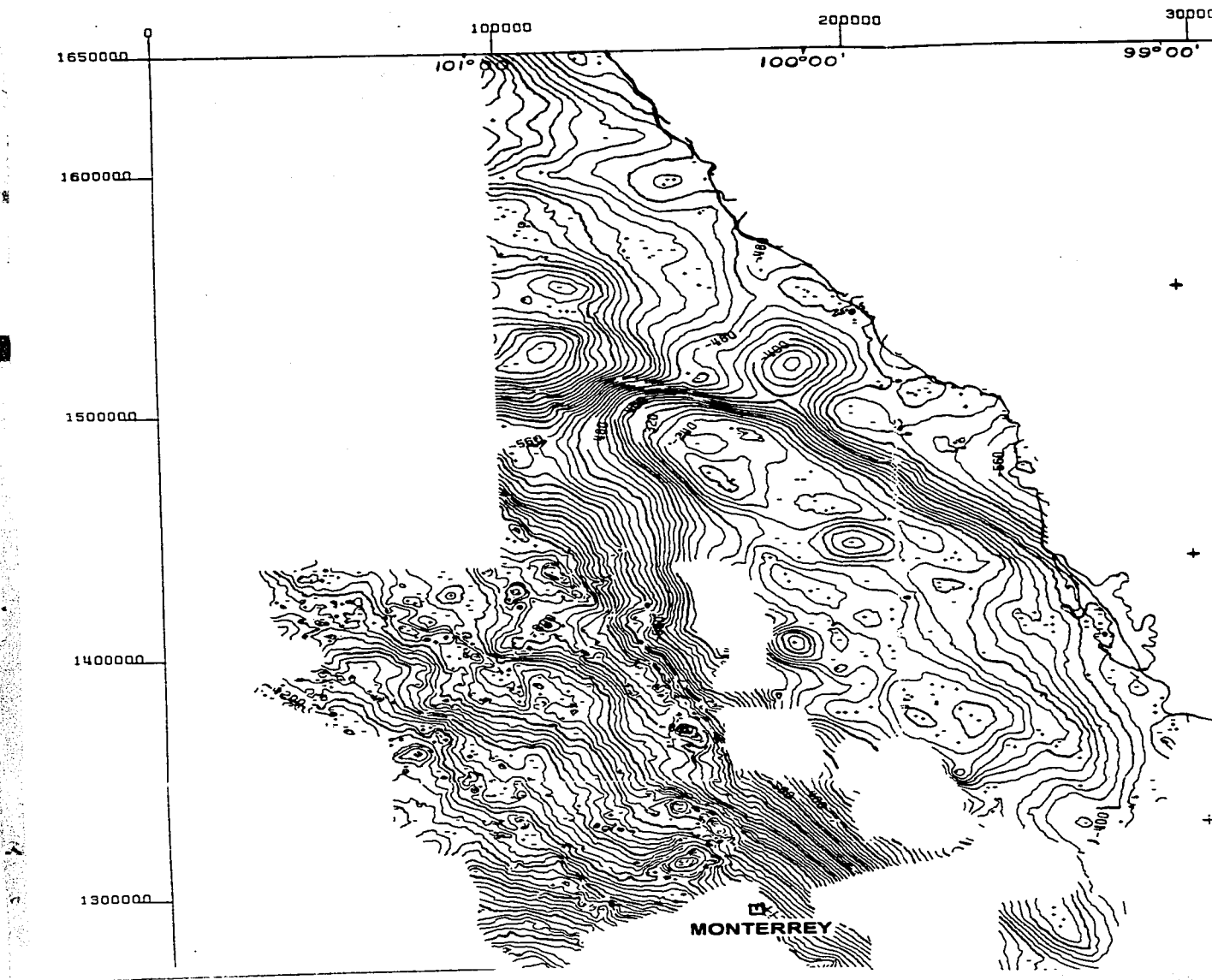
PLANO I.- SIN CONSTANTE DE CORRIE

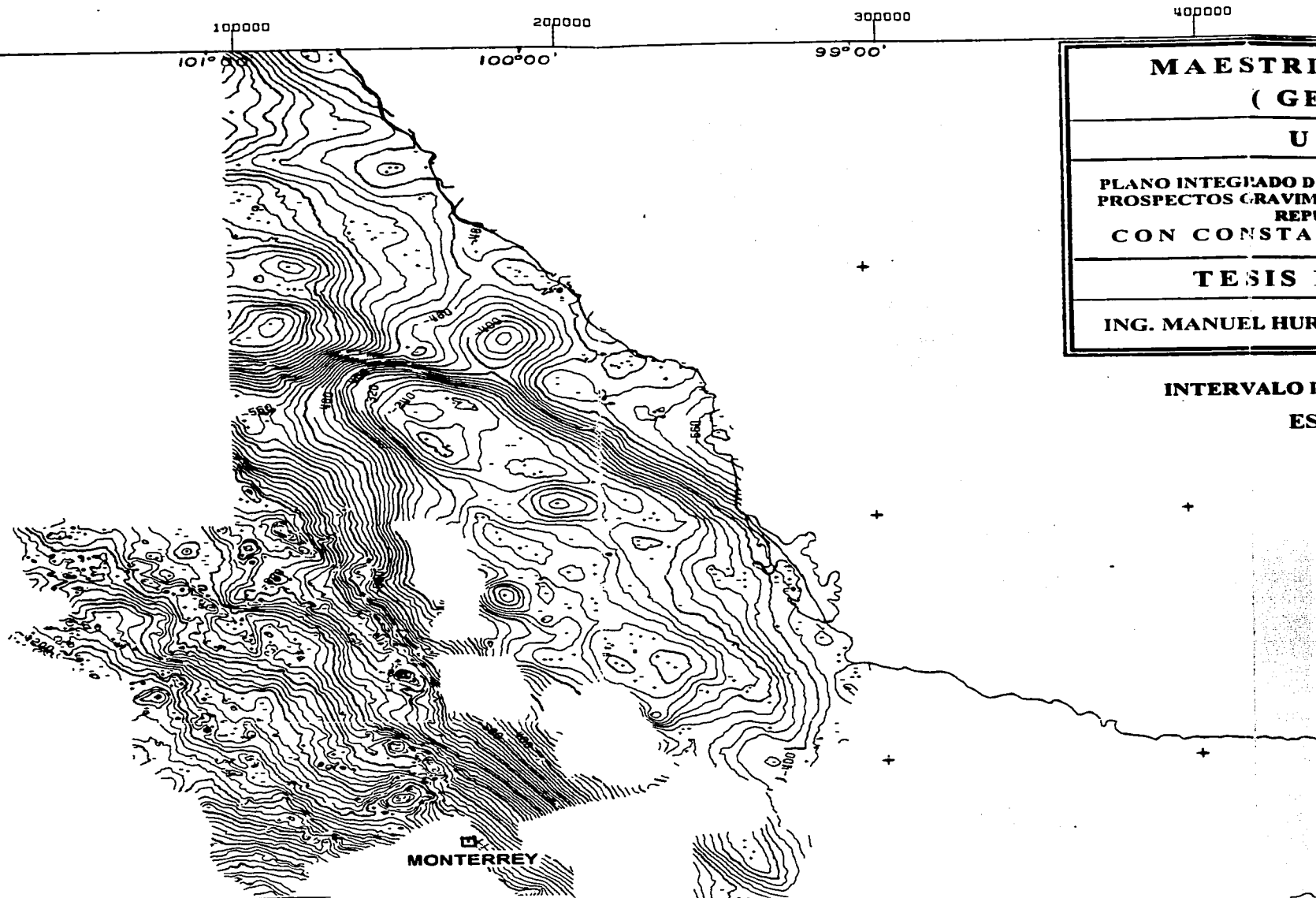


PLANO I.- SIN CONSTANTE DE CORRIMIENTO



CONSTANTE DE CORRIMIENTO





MAESTRI
(GE

U

PLANO INTEGRADO DE
PROSPECTOS GRAVIM
REP
CON CONSTA

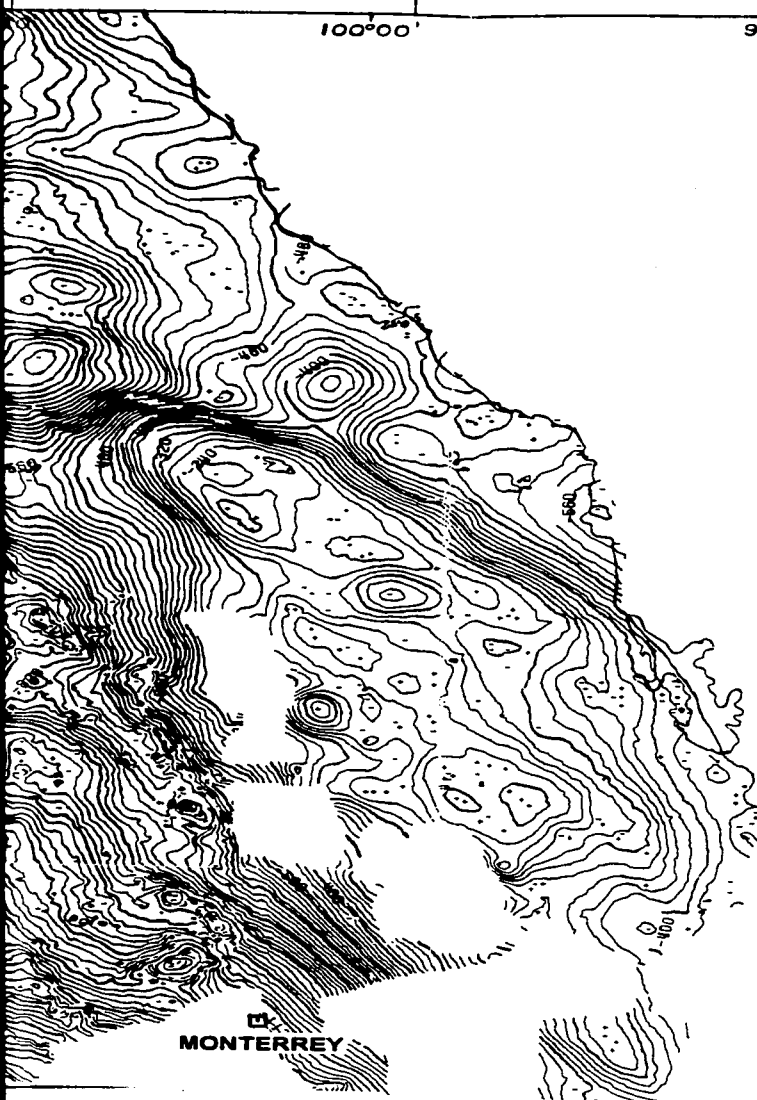
TESIS

ING. MANUEL HUR

INTERVALO D
ES

MONTERREY

00000 200000 300000 400000 500000
100°00' 99°00'



**MAESTRIA EN CIENCIAS
(GEOFISICA)**

U N A M

**PLANO INTEGRADO DE ANOMALIA DE BOUGUER DE LOS
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS DE LA PORCION NE DE
REPUBLICA MEXICANA
CON CONSTANTE DE CORRIMIENTO**

TESIS DE MAESTRIA

ING. MANUEL HURTADO CARDADOR

1997

INTERVALO DE CONFIGURACION 20 u.g.

ESCALA 1:1,500,000



300000

400000

500000

565000

99°00'

1650000

**MAESTRIA EN CIENCIAS
(GEOFISICA)**

U N A M

**PLANO INTEGRADO DE ANOMALIA DE BOUGUER DE LOS 43
PROSPECTOS GRAVIMETRICOS DE LA PORCION NE DE LA
REPUBLICA MEXICANA
CON CONSTANTE DE CORRIMIENTO**

TESIS DE MAESTRIA

ING. MANUEL HURTADO CARDADOR

1997

1600000

INTERVALO DE CONFIGURACION 20 u.g.

ESCALA 1:1,500,000

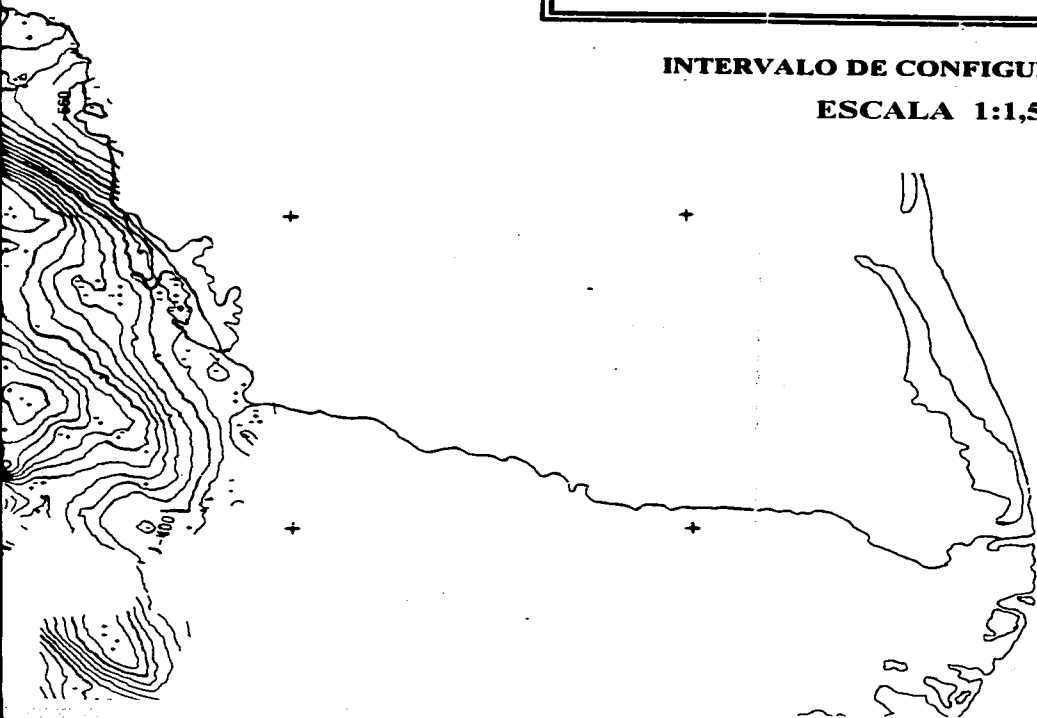
1500000

27°00'

1400000

26°00'

1300000

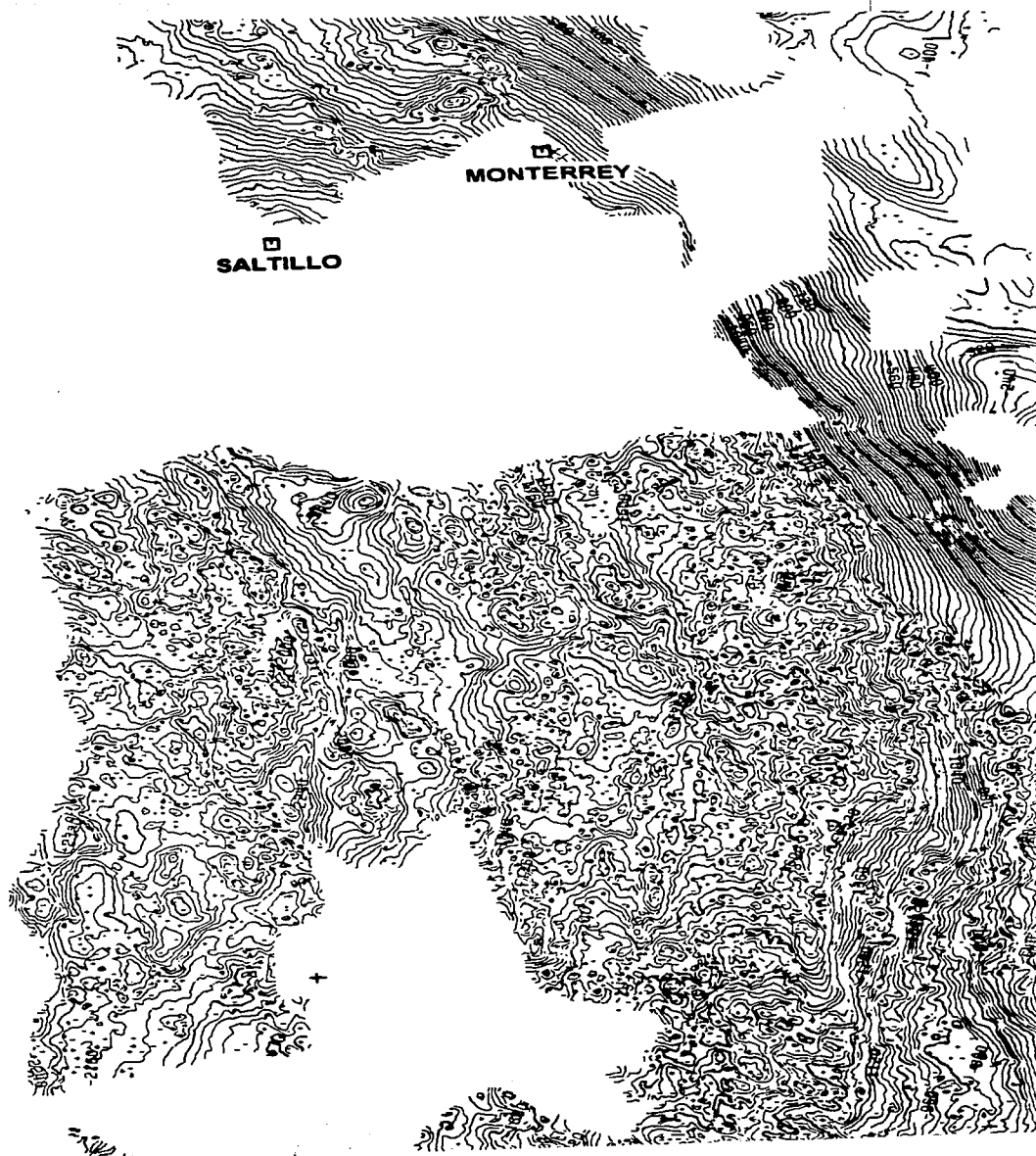


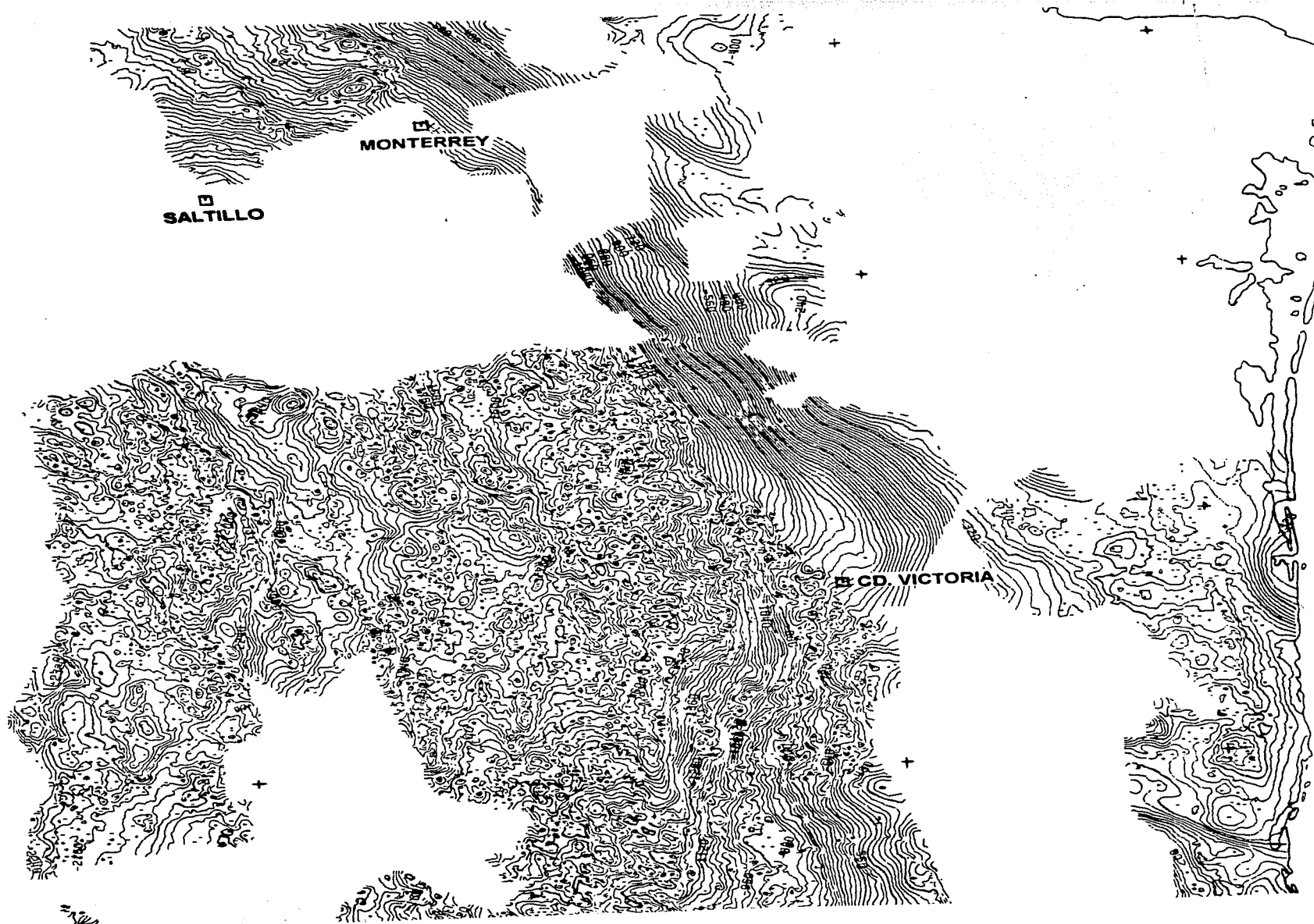
1300000

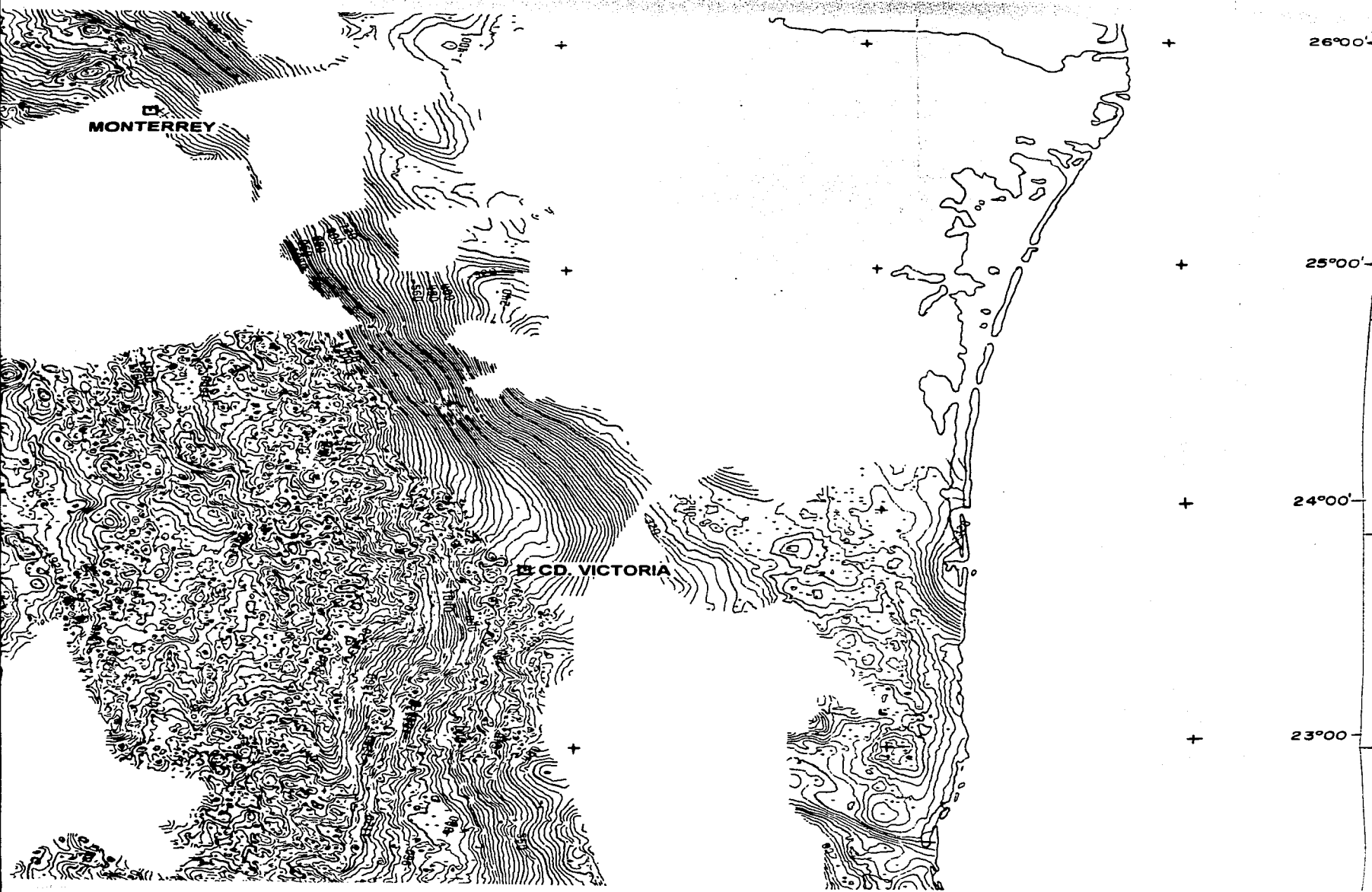
1200000

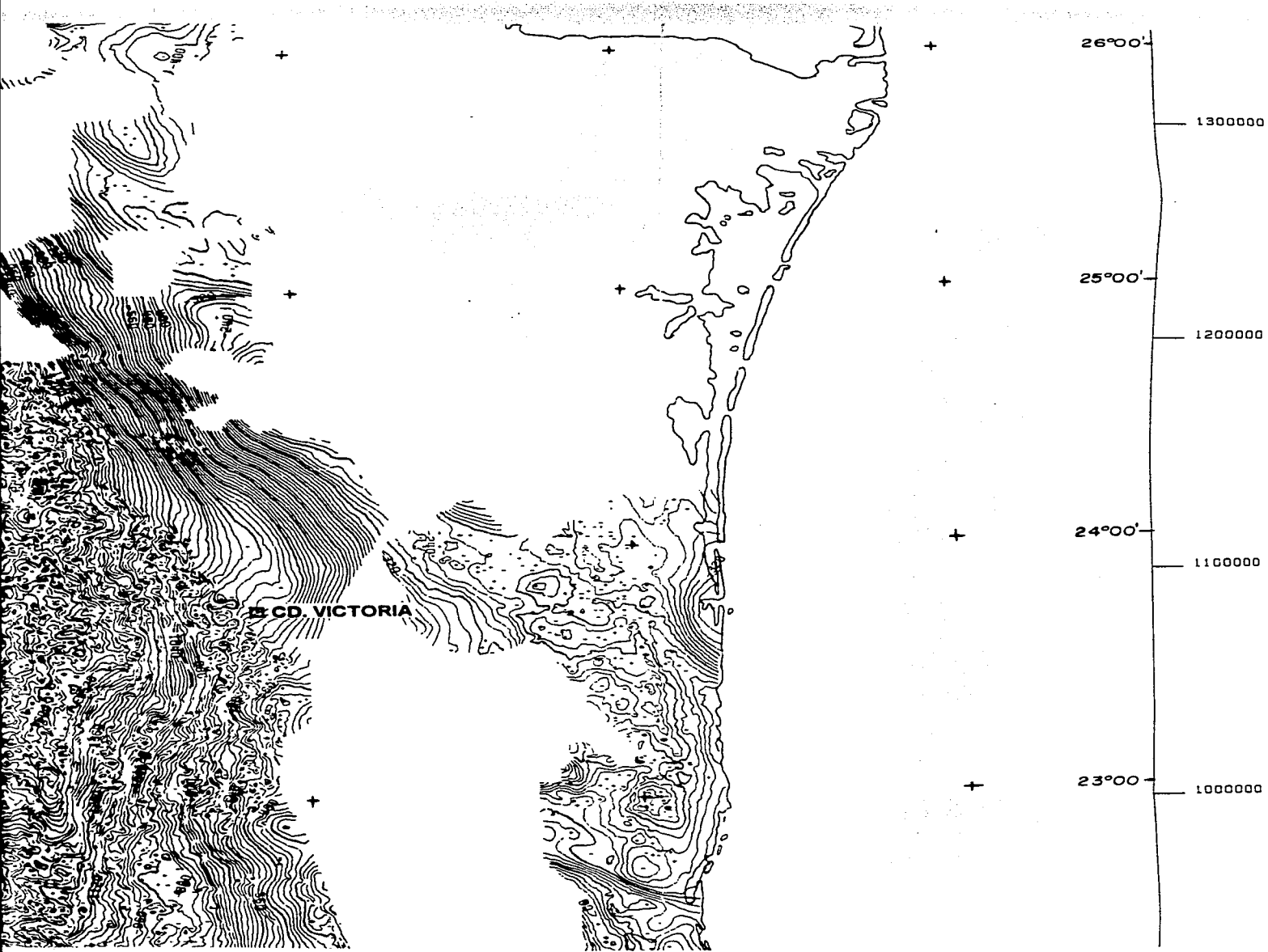
1100000

1000000

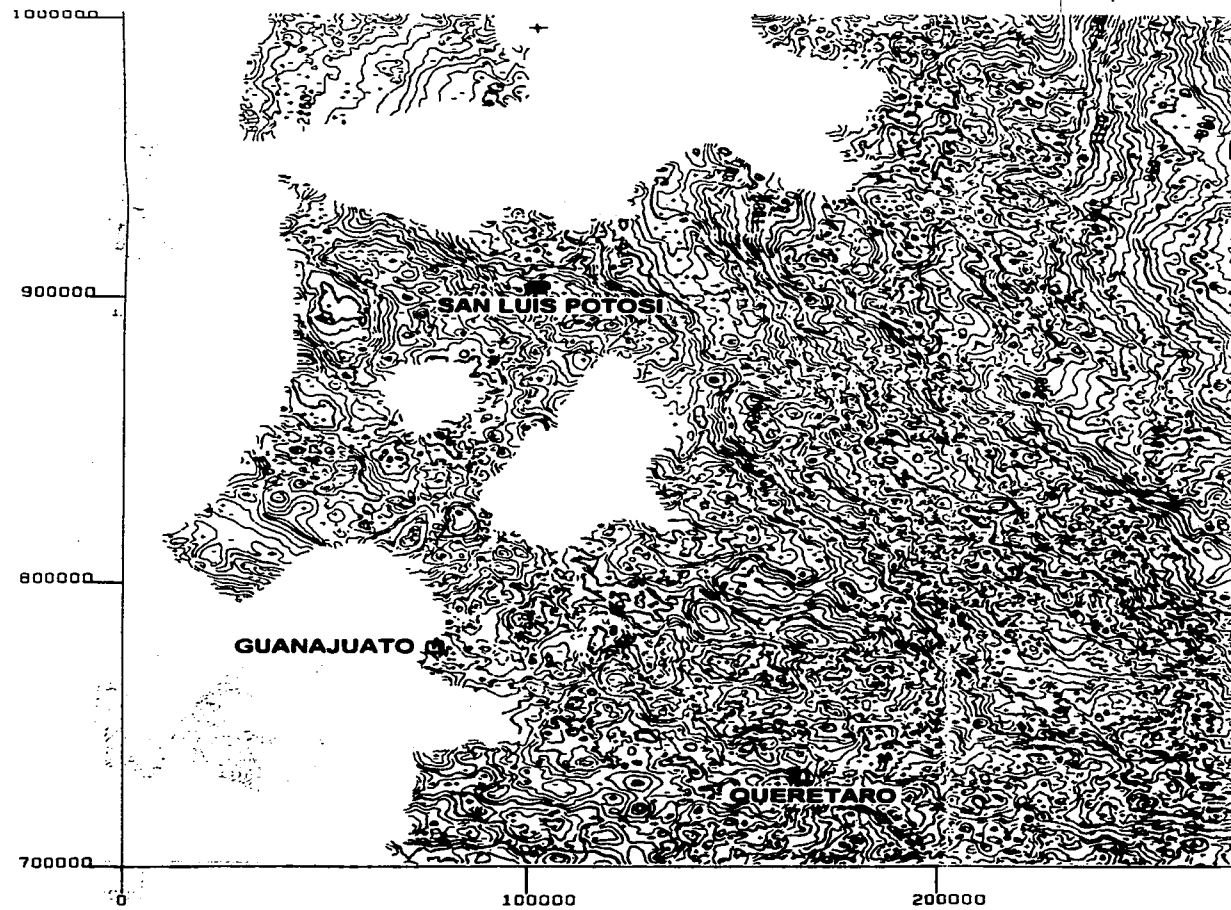








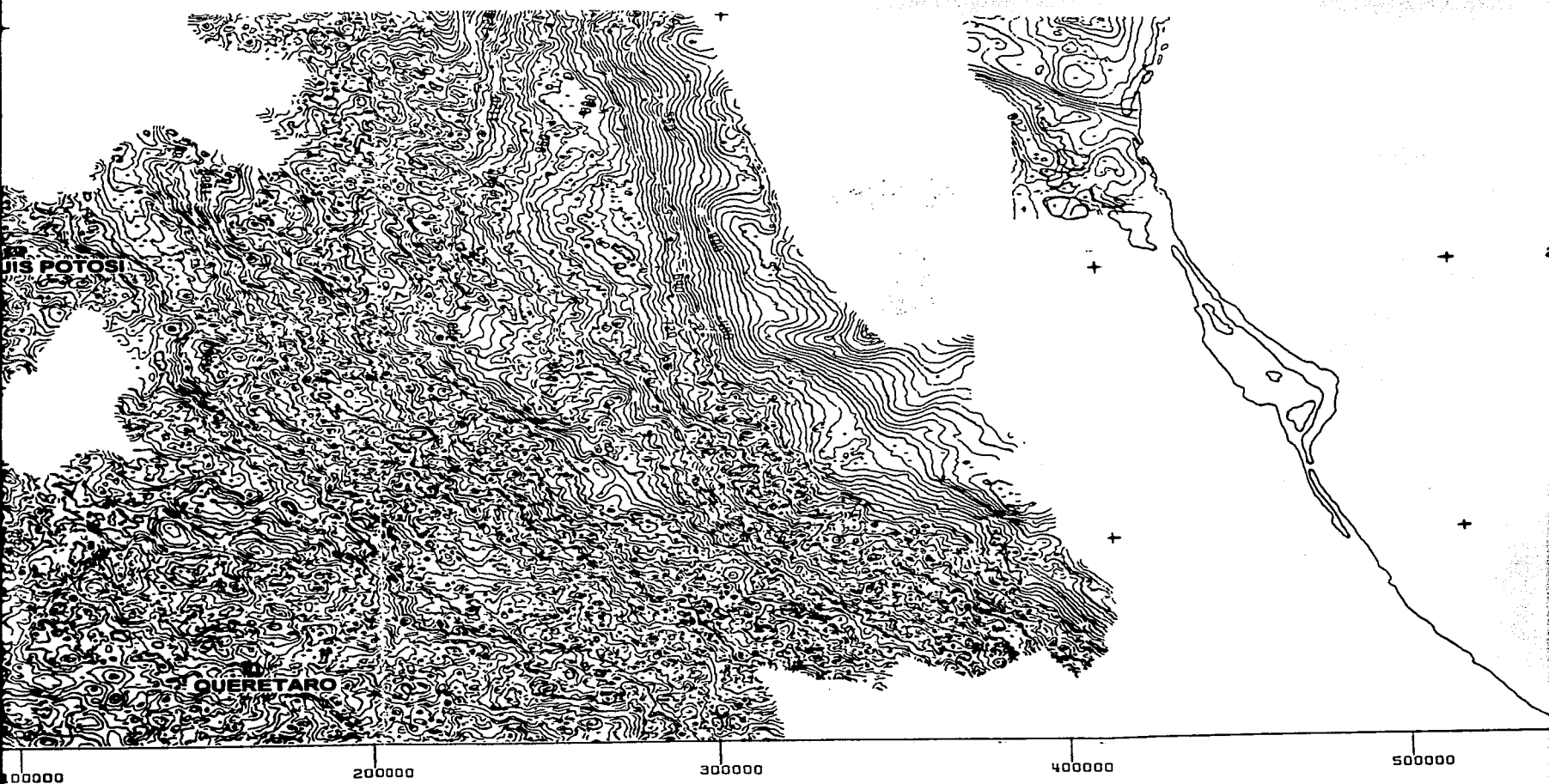
ESC 1:1,500,000



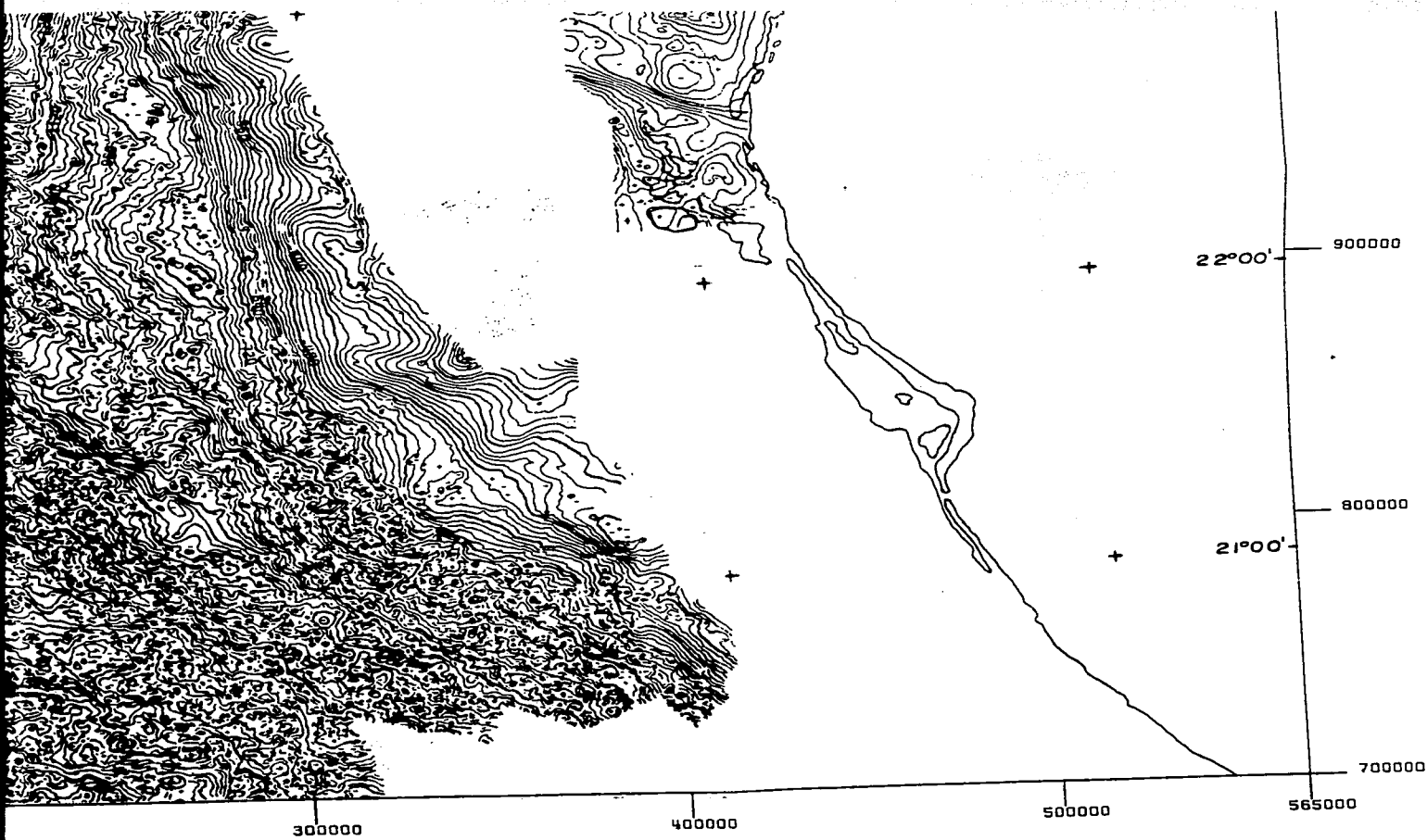
PLANO II.- CON CONS



PLANO II.- CON CONSTANTE DE CORRIM



PLANO II.- CON CONSTANTE DE CORRIMIENTO



CONSTANTE DE CORRIMIENTO