

DESARROLLOS RECIENTES EN LA EVALUACION
DEL RIESGO SISMICO EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA

Juan Murria
Asesor de Estudios de Ingenieria
Maraven S.A., Lagunillas
Estado Zulia, Venezuela

PROPOSITO Y ALCANCE

El propósito de este trabajo es presentar de un modo general las actividades llevadas a cabo en Venezuela durante los últimos años en la evaluación del riesgo sísmico en el occidente del país, haciendo especial énfasis en los estudios sobre sismicidad y geología sísmica efectuados para las instalaciones petroleras ubicadas en el occidente de Venezuela.

En estas actividades ha participado activamente Maraven S.A., filial de Petróleos de Venezuela S.A., (PDVSA), la empresa petrolera del Estado Venezolano, así como la filial hermana Lagoven S.A. INTEVEP (Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo), también filial de PDVSA y que cumple las funciones de Centro de Investigación y Apoyo Tecnológico de dicha empresa, ha estado a cargo de la dirección y coordinación de estas actividades.

Se ha contado asimismo con la activa participación de FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), adscrita al Ministerio de Desarrollo Urbano. También ha tomado parte en estas actividades un grupo destacado de empresas de ingeniería, consultores y universidades, tanto de Venezuela como de los Estados Unidos, Europa y Japón.

Este trabajo cubrirá los siguientes tópicos:

- Breve descripción de la geografía física, política y económica de Venezuela.
- Marco tectónico regional, nacional y local.
- Geología sísmica y sismicidad. Aceleraciones de diseño.
- Breve descripción de los estudios finalizados o en progreso.
 - ° Sistema de Protección Costanera del Lago de Maracaibo.
 - ° El Proyecto Sumandes.
 - ° Sismotectónica del Norte de Venezuela.
 - ° "Los Sismos de Boca del Tucuyo de Abril y Mayo de 1989".
 - ° Otros Estudios y Proyectos.
- Conclusiones

BREVE DESCRIPCION DE LA GEOGRAFIA FISICA, POLITICA Y ECONOMICA DE VENEZUELA

La República de Venezuela está situada al Norte de América del Sur. Limita por el norte con el Mar Caribe, por el oeste con Colombia, por el sur con Brasil y por el este con el Océano Atlántico y con la Guayana Esequiba. (Figura 1).

Tiene una superficie de 912.050 Km² y una población de 18 millones de habitantes, con más del 70% menores de 30 años lo que, unido al equilibrio existente entre los sexos, da como resultado una elevada tasa de fecundidad y, en consecuencia, un alto índice de natalidad. Esto explica el vertiginoso crecimiento demográfico en las últimas cuatro décadas: de 5 millones de habitantes en 1950 a cerca de 15 millones (censo de 1981) y más de 18 millones estimados para 1992.

Venezuela no podía escapar a la tendencia mundial de migración de la población del campo hacia los grandes centros urbanos al extremo que la relación población urbana/población rural se ha invertido en los últimos años: de 35%/65% en 1936 ha pasado a ser 25%/75% en 1981 sin que, desafortunadamente, se vislumbre un cambio en esa tendencia.

La República de Venezuela está dividida en 20 Estados, 2 Territorios Federales, las Dependencias Federales y un Distrito Federal, asiento de la capital de Venezuela, Caracas, con una población que sobrepasa ya los 4 millones de habitantes. Otras ciudades importantes son: Maracaibo, Valencia, Maracay, Barquisimeto, Mérida, Puerto Ordaz, Puerto La Cruz y San Cristóbal.

Venezuela es un país de variada geografía: montañas, selvas tropicales, llanos, desiertos y más de 3000 km de costas. Se reconocen tres grandes regiones geográficas: la región Andino-Costera que ocupa solamente el 20% de la superficie pero donde habita cerca del 80% de la población; la Depresión Central Llanera que cubre el 35% de la superficie y alberga al 15% de la población y, por último, la región Guayana con 45% de la superficie y solamente el 5% de los habitantes.

El clima es generalmente cálido con temperaturas medias anuales del orden de los 25 grados, pero que pueden promediar hasta sólo 10 grados en algunas ciudades en los Andes y llegar a cerca de los 27 grados promedio en Maracaibo y Coro, por ejemplo.

Si bien Venezuela es un país de abundantes recursos naturales (minerales, bosques, tierras aptas para la agricultura y la ganadería, pesca) el predominio del petróleo ha hecho muy difícil un desarrollo integral del país. Actualmente, la producción de petróleo es del orden de 2.3 millones de barriles diarios de los cuales se exportan 1.7 millones que generan cerca del 90% de las divisas.

MARCO TECTONICO REGIONAL, NACIONAL Y LOCAL

Marco Tectónico Regional

El noroeste de Venezuela y el norte de Colombia están situados cerca de la triple unión de Darién, donde se unen las placas de Nazca, del Caribe y de Suramérica (Figura 2). Si bien se han postulado diversos modelos tectónicos, no se ha llegado todavía a un consenso sobre un modelo único. El modelo que describiremos a continuación ha sido desarrollado por Woodward Clyde Consultants, para MARAVEN S.A. (Woodward Clyde 1987) y está basado tanto en la información disponible en la literatura científica como en la información recopilada en los estudios recientemente realizados para la evaluación del riesgo sísmico para proyectos desarrollados en el Norte de Colombia y en el Noroeste de Venezuela, específicamente para el Sistema de Protección de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, al que habremos de referirnos más adelante.

Soulas (1985), Dewey (1972) y James (1986) han postulado modelos tectónicos diferentes. El lector interesado puede consultar estas referencias para un tratamiento detallado de este interesante tópico.

Los principales mecanismos tectónicos de la región son subducción y fallamiento con transposición (wrench faulting). La placa oceánica de Nazca se mueve hacia el este y por debajo de la placa de Suramérica la cual, a su vez, se mueve hacia el oeste con respecto a la placa del Caribe. Este estilo tectónico en su forma actual existe solamente desde hace unos pocos millones de años, por lo que el límite de las placas del Caribe y de Suramérica y la terminación de la zona de subducción cercana a Darién son complicados y no están claramente definidos.

El modelo propuesto por Woodward Clyde integra los elementos tectónicos conocidos y postula que la subducción de la placa de Nazca por debajo la placa de Suramérica termina a lo largo de una línea que une la triple unión de Darién con Bucaramanga y que el norte de Colombia y el noroeste de Venezuela no pertenecen claramente ni a la placa de Suramérica ni a la placa del Caribe (Figura 3). Más bien, estas regiones corresponderían a una zona de deformación entre dichas placas al este de la triple unión de Darién. La dirección de la subducción es hacia el este en tanto que la dirección de los esfuerzos regionales de compresión de la corteza es generalmente hacia el sureste. Esto resulta en un acortamiento de la corteza acompañado del levantamiento de las montañas, hundimiento de las cuencas, plegamiento y fallamiento.

Marco Tectónico Nacional

El norte de Venezuela es parte del límite entre las placas del Caribe y de América del Sur. En tierra firme y en la plataforma continental de Venezuela, este límite se caracteriza por un sistema de fallas orientado aproximadamente en dirección este oeste, a lo largo de la costa y a través de los Andes y las Montañas del Caribe (conocidas también como la Cordillera de la Costa). Este sistema se conoce como las fallas: Boconó-Oca-Morón-El Pilar. Los rasgos tectónico/topográficos más importantes que conforman este límite de placas son: la Sierra Nevada de Santa Marta y la Cordillera Oriental (Colombia), la Sierra de Perijá, la cuenca del Lago de Maracaibo, los Andes venezolanos, la cuenca de Falcón, las montañas del Caribe (Cordillera de La Costa) y las fajas deformadas al norte de Venezuela (Figura 4).

El desplazamiento de América del Sur hacia el oeste con respecto al Caribe es del orden de 1.2 cm/año y origina un esfuerzo de compresión en dirección este oeste o oeste sureste a oeste noroeste, con componentes diagonales (noreste y noroeste). En otras palabras, a lo largo de las fallas que conforman el sistema de fallas de Boconó-Oca-Morón-El Pilar, la magnitud y la velocidad del desplazamiento depende de la orientación de las zonas de fallas con respecto a la dirección principal de esfuerzo este-oeste. Solamente en una dirección norte-sur podrá generarse un esfuerzo de corrimiento; en las direcciones noreste, noroeste y este-oeste, se generan esfuerzos parcial o totalmente rumbo-deslizantes. El corrimiento de las Montañas del Caribe hacia el sur, mostrado en la Figura 4, es un desplazamiento más antiguo que el de la placa del Caribe sobre América del Sur. Este corrimiento ha sido cortado y desplazado por el sistema de fallas que actúa hoy en día. Se estima que el sistema de fallas de Oca-Boconó-Morón-El Pilar data desde fines del Terciario; antes de ese tiempo (Cretáceo a Terciario Medio), se cree que los esfuerzos tectónicos en la corteza de esta región tenían una orientación distinta (norte-noroeste a sur-sureste) y se formaron, entre otras estructuras, las Montañas del Caribe. (Schubert, 1984).

Marco Tectónico Local

La cuenca del Lago de Maracaibo esta rodeada de fallas activas y existen también fallas activas en la cuenca en sí. En el primer estudio de geología sísmica y sismicidad (Woodward Clyde and Associates, 1969) se identificaron cuatro zonas de fallas de interés: Boconó, Valera, Oca y Perijá (Figura 5). La más activa es la falla de Boconó y es la fuente principal de los terremotos que afectan la región de Maracaibo. La falla de Oca presenta un nivel moderado de actividad. Las fallas de Valera y Perijá son también activas pero con niveles de actividad menores.

Los resultados de los recientes estudios (FUNVISIS, 1985 y Woodward Clyde Consultants, 1987) han identificado nuevas fallas en la cuenca del Lago de Maracaibo y, algunas de ellas, más cerca del Sistema de Protección Costanera del Lago de Maracaibo. Dichas fallas son: Misoa, Mene Grande, Burro Negro, Piedemonte Andino, Tía Juana, Icotea, Oca Este (Ancon) y Perijá Este. (Figura 6).

La Tabla 1 resume las características de las fallas estudiadas.

GEOLOGIA SISMICA Y SISMICIDAD. ACELERACIONES DE DISEÑO

Introducción

Una vez definido el marco tectónico correspondiente se procedió a evaluar la capacidad sismogénica de las fallas activas y las relaciones de atenuación a utilizarse con el objetivo final de definir las aceleraciones a utilizar en el diseño de las diferentes obras de ingeniería. Como se menciona más arriba, el objetivo inicial de estos estudios de riesgo sísmico fue el Sistema de Protección Costanera del Lago de Maracaibo y, en particular, el comportamiento de los diques de protección costanera bajo cargas sísmicas, prestando particular atención al potencial de licuación de los suelos de fundación de dichos diques, como se verá más adelante.

Posteriormente, el ámbito de la zona a estudiar se extendió hacia el sur-sureste para cubrir el proyecto del poliducto de SUMANDES (también se describe más adelante), y, posteriormente, hacia el norte para cubrir el área de las refinerías de Cardón y Amuay ubicadas en la Península de Paraguaná.

El procedimiento utilizado está descrito en detalle en Soulas et al, 1985 y en Woodward Clyde Consultants, 1987. Aquí nos limitaremos a hacer un breve resumen de dicho procedimiento para pasar de inmediato a presentar los resultados obtenidos cuando describamos los proyectos ejecutados y en progreso.

El análisis probabilístico de la amenaza sísmica incorpora la incertidumbre tanto en la ubicación como en el tiempo de ocurrencia de los sismos de diferentes magnitudes, así como en la atenuación de las ondas sísmicas para evaluar la probabilidad de excedencia de los niveles de movimiento del suelo en el lugar seleccionado durante el intervalo de tiempo previamente especificado. La información requerida para utilizar este método es:

- Definición de la fuente (tipo, ubicación, geometría)
- Magnitud máxima del sismo para cada fuente
- Período de recurrencia de dicho sismo para cada fuente

- Relación magnitud/ruptura (longitud o área)
- Atenuación de los movimientos del suelo desde la fuente al lugar de interés.

Inicialmente se efectuó un análisis probabilístico de la amenaza sísmica para los diques costaneros de Tia Juana, Lagunillas y Bachaquero utilizando la información sobre geología sísmica y sismicidad contenida en el informe de Woodward Clyde and Associates de 1969. Posteriormente este análisis se repitió utilizando la información sísmica actualizada (Woodward Clyde Consultants, 1987, Soulas et al, 1985). La Figura 7 muestra los resultados obtenidos, observándose que la relación "período de retorno vs aceleración" está dada por una faja en lugar de una línea. Esto se debe a que INTEVEP y Woodward Clyde han utilizado relaciones de atenuación distintas. El límite inferior de dicha faja representa los resultados obtenidos por INTEVEP, mientras que al límite superior corresponde a los obtenidos por Woodward Clyde Consultants.

En términos generales, sin embargo, hay buena concordancia. Del gráfico se desprende que para un período de retorno de diseño de 3000 años corresponde una aceleración del orden 28% de la gravedad.

BREVE DESCRIPCION DE LOS ESTUDIOS FINALIZADOS O EN PROGRESO

Sistema de Protección Costanera del Lago de Maracaibo

La producción de petróleo ha originado el fenómeno de subsidencia, es decir, el hundimiento de la superficie del terreno debido a la extracción de fluidos (petróleo y gas) de los yacimientos someros (300 a 1000 m) de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM). Dicho fenómeno, aunado a la geomorfología de la zona, (tierras bajas y anegadizas escasamente sobre el nivel del Lago), trajo como consecuencia la necesidad de proteger vidas humanas e instalaciones tanto de las aguas del Lago como de las provenientes del escurrimiento de las áreas circunvecinas y que deben ser drenadas por bombeo al lago. El conjunto de diques costaneros, diques interiores y sistema de drenaje se conoce como SISTEMA DE PROTECCION COSTANERA DE LA COLM. (Figura 8).

Dicho sistema ha sido construido y mantenido utilizando los más avanzados conocimientos y técnicas de ingeniería disponible en sus diferentes etapas de su desarrollo (Murria, 1991). Sin embargo, los estudios realizados recientemente por MARAVEN e INTEVEP (con asesoría externa muy calificada), han determinado que los suelos de fundación de los diques costaneros están en buena parte formados por arenas no consolidadas, saturadas, que presentan un potencial de licuefacción bajo la apropiada

excitación dinámica originada por un sismo de determinadas características en el occidente de Venezuela. Dicha licuefacción podría originar fallas en los diques costaneros que, de no poder ser controladas, podrían ocasionar la inundación de las áreas por debajo del nivel del Lago.

Dentro de las áreas protegidas por el Sistema de Protección Costanera habitan más de 50.000 personas, localizadas su mayoría en Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero. El sistema protege, además, instalaciones petroleras con un valor de reemplazo que excede los 400.000 MMBs. y la producción de 1.5 MMBPD, es decir, alrededor de un 60% de la producción nacional.

En vista de la importancia que la Costa Oriental del Lago Maracaibo reviste para el país, PDVSA ha definido las siguientes acciones a tomar, a través de sus filiales Lagoven y Maraven:

- Medidas de prevención.
- Medidas de mitigación.
- Plan de contingencia (PLAN COLM)

Las medidas de prevención están orientadas a:

- Controlar el crecimiento de la población en las áreas de subsidencia e incentivar el traslado de la misma hacia zonas cercanas y seguras.
- Proteger o reubicar algunas instalaciones estratégicas, tales como centrales telefónicas, subestaciones eléctricas, hospitales, etc.

Las medidas de mitigación (Figura 9) consisten básicamente en:

- Construcción de bermas aguas abajo para aumentar la resistencia y estabilidad de los diques costaneros.
- Pilas de compactación en ciertas zonas especialmente críticas, con el fin de mejorar los suelos de fundación y, por consiguiente, reducir su potencial de licuefacción.
- Extensión del rompeolas existente hacia el Lago.

Estas acciones son ejecutadas por MARAVEN y requerirán de una inversión estimada del orden 3.900 MMBs (unos 60 millones de dólares). Se estima concluir las a mediados de 1993. Los costos ocasionados son cubiertos conjuntamente por Maraven y Lagoven.

A pesar de las medidas de mitigación que se están implantando el Gobierno Nacional, a solicitud de PDVSA, decretó la elaboración de un Plan de Contingencia para la Costa Oriental (PLAN COLM).

Plan de Contingencia para la Costa Oriental (PLAN COLM)

Objetivo y Alcance del Plan

El objetivo del Plan de Contingencia es minimizar el impacto social y los daños materiales en caso de inundación de las áreas bajo cota cero a causa de una falla no controlable de los diques costaneros. El Plan de Contingencia cubre las áreas bajo cota cero de los campos de Lagunillas, Tía Juana y Bachaquero.

Preparación del Plan

Un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por profesionales de Maraven y Lagoven tuvo a su cargo la coordinación de la preparación del Plan, contando con reputados asesores tanto nacionales como internacionales. En la preparación de dicho Plan han participado activamente representantes de las autoridades nacionales, estatales y municipales.

La primera versión del Plan se finalizó y distribuyó en enero de 1991. Dicha versión está actualmente en revisión.

Para la preparación del Plan, se siguió el siguiente esquema conceptual:

- ° Definición del Area afectada.
- ° Recolección y Análisis de Información Básica.
 - Cartografía.
 - Inventario de Instalación e Infraestructura de Servicios.
 - Población.
- ° Análisis de Escenarios/Evaluación del Impacto.
- ° Elaboración del Plan.
 - Contenido.
 - Documentación.
- ° Divulgación.
- ° Adiestramiento y Educación (Ejercicios y Simulacros).
- ° Actualización y Perfeccionamiento.

Actualmente se trabaja en las fases de perfeccionamiento y actualización, actividades éstas que habrán de continuar mientras el PLAN COLM siga vigente.

El Proyecto Sumandes

El Proyecto SUMANDES consiste básicamente en un poliducto de 12" que va desde el terminal lacustre de Bajo Grande, al sur de Maracaibo en la costa oeste del Lago de Maracaibo, hasta la Planta de Distribución de El Vigía en el Estado Mérida en su primera etapa, planeándose una segunda etapa que va desde El Vigía hasta Murachí en las cercanías de San Cristóbal en el Estado Táchira (Figura 10).

Este proyecto se ha desarrollado para satisfacer la demanda de productos de hidrocarburos en la región de los Andes y es indudable que habrá de redundar en beneficios económicos al reducir el congestionamiento de tráfico pesado por las carreteras lo que, a su vez, reducirá el deterioro de dichas carreteras así como los accidentes viales. El proyecto disminuirá igualmente costos de distribución de los productos y el consumo de energía.

La primera etapa, en su fase final de construcción consiste en un poliducto de 12" con una longitud total de 295 km, de los cuales 100 km son submarinos. La segunda etapa, en la fase de ingeniería básica, será un poliducto de 10" de 150 km que va de El Vigía a la Planta de Distribución de Murachí. Una de las principales características de esta etapa es la sección La Fría-Murachí (aproximadamente 60 Km) en la que la geología y la topografía conducen a una amplia gama de amenazas sísmicas que podrían causar deformaciones del suelo de gran magnitud.

Los resultados de los estudios de riesgo sísmico ejecutados para la primera etapa permitieron incorporar en el diseño medidas tendientes a minimizar los efectos adversos de un sismo. En cuanto a la segunda etapa, el plan de acción preparado para los estudios de riesgo sísmico está listo y a la espera de una definición de PDVSA en cuanto a la aprobación de la ejecución de esta segunda etapa.

Sismotectónica del Norte de Venezuela

Este proyecto está siendo desarrollado por INTEVEP con la participación del Instituto de Geofísica de la Universidad de Hamburgo (IfGHH) y el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera de Barcelona en el marco del contrato celebrado entre la Comunidad Europea e INTEVEP a mediados de 1989. (INTEVEP, 1991).

El proyecto contempla dos estudios de microsismicidad, uno en el occidente y otro en el oriente del país, con miras a evaluar parámetros sísmicos, mejorar el conocimiento del régimen tectónico en la zona de interacción de las placas del Caribe y de Suramérica.

Las áreas seleccionadas para estos estudios son: el Estado Falcón, al oeste y las Península de Paria y Araya en el este del país. (Figura 11). El trabajo de campo se inició en el Estado Falcón en Octubre de 1989 y consistió básicamente en la instalación de una red de 60 estaciones portátiles y lecturas de las mismas durante tres meses. Posteriormente se trasladaron los equipos a la zona oriental repitiéndose el procedimiento. Los trabajos de campo se completaron con buenos resultados en Septiembre de 1990 y actualmente se está finalizando el análisis de la información y la preparación de los informes respectivos.

Los Sismos de Boca del Tocuyo de Abril y Mayo de 1989

El 30 de abril de 1989 ocurrió un sismo de magnitud 5.8 mb. con epicentro localizado en el Mar Caribe al este del Estado Falcón a una profundidad de 11 km. Este sismo fue sentido en los estados Falcón, Carabobo, Aragua, Lara, Guárico, Miranda y el Distrito Federal. Tres días después, el 3 de mayo de 1989, ocurre un nuevo sismo, de magnitud 5.0 mb a una profundidad de 13.5 km, localizado muy cerca del primero y sentido también en los mismos estados que el anterior, (Figura 12).

FUNVISIS inició las investigaciones de rigor pero, en vista de la cercanía del epicentro a las refinerías de Amuay y Cardón, la Industria Petrolera Nacional decidió estudiar en detallé las consecuencias de dichos sismos, habiéndole encomendado esta tarea a INTEVEP en colaboración con FUNVISIS.

A continuación se presenta un resumen de los estudios realizados que fueron presentados en el XI Seminario Venezolano de Geotecnia (De Santis et al 1990).

Marco Geológico-geográfico

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte nororiental del Estado Falcón entre las poblaciones de Tocuyo de la Costa y Boca de Tocuyo, próximas a la costa y a la desembocadura del río Tocuyo, situándose dentro del ambiente característico de un sistema deltaico. En términos espaciales la sedimentación se estructura principalmente en un cordón litoral netamente arenoso, que forma una barrera, que desarrolla playa adentro un ambiente de albuferas o lagunas costeras con sedimentos arcillosos (De Santis et al 1990).

Marco Sismotectónico

El inicio de una tormenta sísmica en el segundo trimestre de 1989, conforma el marco de ocurrencia de dos eventos sísmicos de relevante importancia ya que los mismos son los responsables de la energía que indujo el fenómeno de licuación en un área extensa. La distribución de más de 2000 sismos registrados por FUNVISIS concentra gran parte de ellos en los últimos días de Abril y principios del mes de Mayo.

La sismicidad registrada en esta región antes de 1989 es moderada y, específicamente para Chichiriviche y pueblos circunvecinos, no se tienen datos históricos sobre sismos que hayan afectado estas poblaciones. Este hecho contribuyó a magnificar los daños de las viviendas, ya que muchas de ellas presentan serios vicios de construcción motivados, entre otras cosas, a la poca cultura sísmica que tienen los pobladores del lugar.

La información sismotectónica existente en el país de las fallas fuentes asociadas con estos dos eventos es reducida. Sin embargo, se sabe de la existencia de un sistema de fallas activo, en la plataforma de Chichiriviche identificado como resultado de las investigaciones realizadas en la plataforma marina al este de Falcón oriental para las actividades de perforación costa afuera llevadas a cabo por PDVSA al final de la década del '70.

Evidencias de Licuación

Las evidencias de la licuación de arenas, el efecto geotécnico más importante, y cuya ocurrencia en el pasado no ha sido suficientemente documentada, motivó la investigación de este fenómeno por parte de FUNVISIS con el apoyo de INTEVEP. Los estudios en superficie, para tal fin comprenden:

levantamientos altimétricos-planimétricos de las evidencias de la licuación, geología de superficie y estudios de fotointerpretación de las condiciones locales. Por otra parte, la realización de una campaña de exploración consistente en calicatas y perforaciones permitió interpretar las condiciones del subsuelo.

Las evidencias superficiales de licuación se encuentran distribuidas en un radio de 20 km alrededor de la zona epicentral. Entre estas evidencias se destacan las líneas de inyección de arena, fracturas en el terreno y conos aislados. Estas estructuras fueron particularmente abundantes en Boca de Tocuyo, Tocuyo de la Costa, Chichiriviche y Boca de Mangle.

Otros Estudios y Proyectos

Por falta de espacio y tiempo se presenta a continuación una lista parcial de otros estudios y proyectos que la Industria Petrolera Nacional ha emprendido en los últimos años con la indicación de su estatus: finalizados o en progreso:

- ° Medición del espesor de la corteza terrestre al este del Lago de Maracaibo. (Finalizado).
- ° Instalación de una red sismográfica en el área del Lago de Maracaibo. (En progreso).
- ° Instalación de una red acelerográfica en el área del Sistema de Protección Costanera de la COLM. (En progreso).
- ° Preparación de normas de construcción sismorresistente para las instalaciones de la Industria Petrolera Nacional. (Terminado).
- ° Estudio de vulnerabilidad para diversas instalaciones petroleras con las respectivas recomendaciones sobre medidas correctivas a implantar. (En progreso).

PLANES Y PROYECTOS FUTUROS

Entre los planes y proyectos que la Industria Petrolera Venezolana contempla a corto y a mediano plazo en el área de evaluación de riesgo sísmico podemos mencionar los siguientes:

Evaluación del Riesgo Sísmico de las Instalaciones de PDVSA

Este proyecto contempla la evaluación del riesgo sísmico de las instalaciones más críticas de la Industria Petrolera en Venezuela y la eventual implantación de medidas correctivas correspondientes. Si tomamos en cuenta que dichas instalaciones se extienden a lo largo y ancho de todo el país, con excepción de Guayana, podemos formarnos una idea de lo importante y ambicioso que es este proyecto.

En la actualidad INTEVEP, con el apoyo de MARAVEN, prepara una propuesta a ser presentada en los próximos meses a PDVSA que, de ser aprobada, permitiría el inicio de las actividades a principios de 1993. Se visualiza la división de este proyecto en tres grandes zonas: centro, oriente y occidente, con cada una de las tres filiales operadoras (Lagoven, Corpoven y Lagoven) encargadas de la coordinación de las actividades en su respectiva zona. Dichas actividades estarían coordinadas por INTEVEP y serían desarrolladas por FUNVISIS, las universidades nacionales y empresas especializadas, contándose además con calificada asesoría externa.

Proyecto de Microzonificación Sísmica

Desde 1991 hemos establecido contacto con el Laboratoire Central de Ponts at Chaussees de Francia para desarrollar un proyecto conjunto de microzonificación sísmica en dos regiones de Venezuela con ambientes topográficos y sismotectónicos diferentes. Se han identificado preliminarmente la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (zona plana, aluvial, típica de un ambiente lacustrino) y el área de la Planta de Distribución de Cantinas de Lagoven a la entrada de Caracas viniendo del Litoral (zona montañosa).

Este proyecto se desarrollaría en el marco de los acuerdos de cooperación técnica entre los gobiernos de Francia y Venezuela y ya ha sido aprobado, en principio, por el gobierno francés. Se espera únicamente por la confirmación de la correspondiente disponibilidad presupuestaria para su aprobación definitiva, esperando poder iniciar las actividades en el segundo semestre del año en curso.

Estudio de Vulnerabilidad de Líneas Vitales

Proyecto a desarrollarse en el marco de los acuerdos de cooperación técnica entre los países de América Latina y el Caribe y el "Central United States Earthquake Consortium, (CUSEC)", organización que agrupa a siete estados norteamericanos ubicados en las cercanías de la falla de New Madrid, Estado de Missouri. Estos acuerdos se formalizaron en una reunión que tuvo lugar en Indianapolis en Noviembre de 1991 y que conto con la presencia de representantes de Venezuela, entre otros. La Organización de Estados Americanos (OEA) participará como ente coordinador a través de su Departamento de Desarrollo Nacional y de Asuntos Ambientales.

El proyecto contempla la selección de una ciudad de un país latinoamericano o del Caribe y de una ciudad de uno de los Estados de CUSEC. Hasta el momento se han seleccionado Manizales, Colombia y Evansville, Illinois como el primer par de ciudades. El segundo par estará formado por Port Girardeau, Missouri y una ciudad de Venezuela cuya selección se habrá de definir en las próximas semanas. Por Venezuela participarán en el proyecto MARAVEN, INTEVEP y FUNVISIS, con la posible inclusión de la Universidad de Los Andes, a través de su Laboratorio de Geofísica.

Comentarios Finales

En relación con estos planes a corto y mediano plazo es conveniente destacar el interés demostrado por diversos países europeos, Canadá, Japón y, en menor grado, los Estados Unidos de participar en este tipo de proyectos bilaterales.

En nuestras conversaciones con representantes de organismos técnicos de los países europeos hemos recibido la impresión de que pareciera que existe una suerte de competencia entre la CEE y sus países miembros por la participación en este tipo de proyectos bilaterales lo cual no deja de ser paradójico, al menos para los que no conocemos las interioridades de la Comunidad Europea. De otro lado, es importante destacar nuestra percepción de que los países europeos parecen considerar a México, Colombia, Perú y Venezuela como los más apropiados para este tipo de acuerdos de cooperación técnica. Queremos finalizar este comentario destacando que estas apreciaciones son las del autor y que no necesariamente reflejan la opinión de nuestra industria petrolera.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la Ingeniería Sísmica y disciplinas afines en los últimos años ha sido considerable en Venezuela. A este desarrollo ha contribuido de manera considerable la Industria Petrolera Nacional a través de INTEVEP y sus empresas filiales operadoras, habiendo colaborado activamente con FUNVISIS, con las universidades nacionales y otros centros de investigación del país en el desarrollo de proyectos relacionados con la evaluación del riesgo sísmico y en la implantación de las correspondientes medidas correctivas. Ha establecido, además, fuertes nexos de colaboración técnica y científica con renombradas instituciones de diversos países de América, Europa y Asia.

La plena realización de los planes trazados permitirán sin duda, mantener la posición de liderazgo que nuestra industria detentado en los últimos años.

REFERENCIAS

De Santis F., Echezurfa H., Audemar F., Beltrán C., Alviar J. y Ferrer Bus. C. (1991) "Los Sismos de Abril y Mayo de 1989. Evidencia de Licuación". II Seminario Venezolano de Geotecnia, S.V.M.S.I.F., Caracas 15 y 16 de octubre de 1991.

Dewey J.W. (1972). "Seismicity and Tectonics of Western Venezuela". Bull. Seismol. Soc. Am.; 62 (6).

Gajardo E., Murria J., Mode N. and Abi Saab J. (1990) "Strategies of the Venezuelan Oil Industry for the Evaluation of Seismic and Geotechnical Risks: Two Case Studies" Third U.S. Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, San Francisco, CA, 17 December 1990.

Jaeger Ladislav, Murria Juan, Abi Saab Jacinto y Leal Julio, (1989) "Mediciones de la Subsistencia en la Costa Oriental del Lago". II Congreso Venezolano de Geodesia. Memorias. Boletín Cartografía y Geodesia, Universidad del Zulia, Maracaibo, Octubre 1989.

James K.H., (1985). "Main Facults of the Maracaibo Basin and its Surrounds, Doc. 1231E. Internal MARAVEN report.

INTEVEP (1991). Seismotectonics of Northern Venezuela. Second Progress Report (no publicado).

Mendoza H. and Murria J. (1989) "Ground Subsidence Modelling in Western Venezuela" "International Symposium on Land Subsidence" Dhanbar, Bihar, India, 11 11 December 1982

Murria, Juan. (1991) Subsidence due to Oil Production in Western Venezuela: Engineering Problems and Solutions. Fourth International Symposium on Land Subsidence, Houston, Texas, USA, May 1991.

Soulas J.P., Rojas C., Singer A., Beltrán C., y Lugo M., (1985). Informe Final de la Primera Fase, Informe preparado por FUNVISIS para INTEVEP, S.A.

Vivas, Leonel (1984) El Cuaternario. La Imprenta C.A., Mérida, Venezuela.

Schubert, Carlos (1984). "Los Terremotos en Venezuela". Cuadernos Lagoven, Caracas.

Woodward Clyde and Associates, (1969), Seismicity and Seismic Geology of northwestern Venezuela: Informe preparado para la Compañía Shell de Venezuela.

Woodward Clyde Consultants. (1987) Geotechnical Studies, Costa Oriental Dikes. (Volume 1. Seismic Geology and Seismicity, Volumen 2. Earthquake Ground Motions) Prepared for MARAVEN S.A. 1987.

TABLE 1
1985 B SEISMICITY DATA

BEST ESTIMATE PARAMETERS

Source	Type	Length-km	Width-km	Slip Rate-mm/yr	Maximum Magnitude	b-value	A* = No. Events/yr m $\geq$ 5
Bocono	Right Lateral	500	20	9	8-1/4	0.76	0.291
Northwest Merida Thrust	Reverse	235	23	0.94	7-1/2	0.76	0.0531
Valera (North of Rio Monay)	Left Lateral (?) Reverse	75	15	1	6-1/2	0.76	0.0667
Misoe	Reverse	60	20	0.08	7	0.75	0.0024
Burro Negro	Reverse (?)	60	16	0.01	6-1/2	0.75	0.0027
Pueblo Viejo	Left Lateral Reverse	50 75	16 16	0.02 0.02	6-1/2 6-1/2	0.75 0.75	0.0029 0.0014
Icotea (Lama)	Left Lateral Reverse	150	16	0.013	6-1/2	0.75	0.0014
Oca	Right Lateral	260	13	0.42	7	0.70	0.035
East Oca El Mayal (Ancon de Iturre)	Right Lateral (?)	230	13	0.011	6-3/4	0.70	0.0011
East Perija Thrust	Reverse	150	23	0.054	7	0.80	0.0053
Perija	Right Lateral	225	18	0.054	7	0.80	0.0062
Tia Juana	Reverse	75	16	0.02	6-1/2	0.75	0.0014

Note: For Pueblo Viejo the probability that its total length = 50 km or 75 km is 0.4 and 0.6, respectively.

Tabla 1. Características de las fallas principales del oeste de Venezuela.

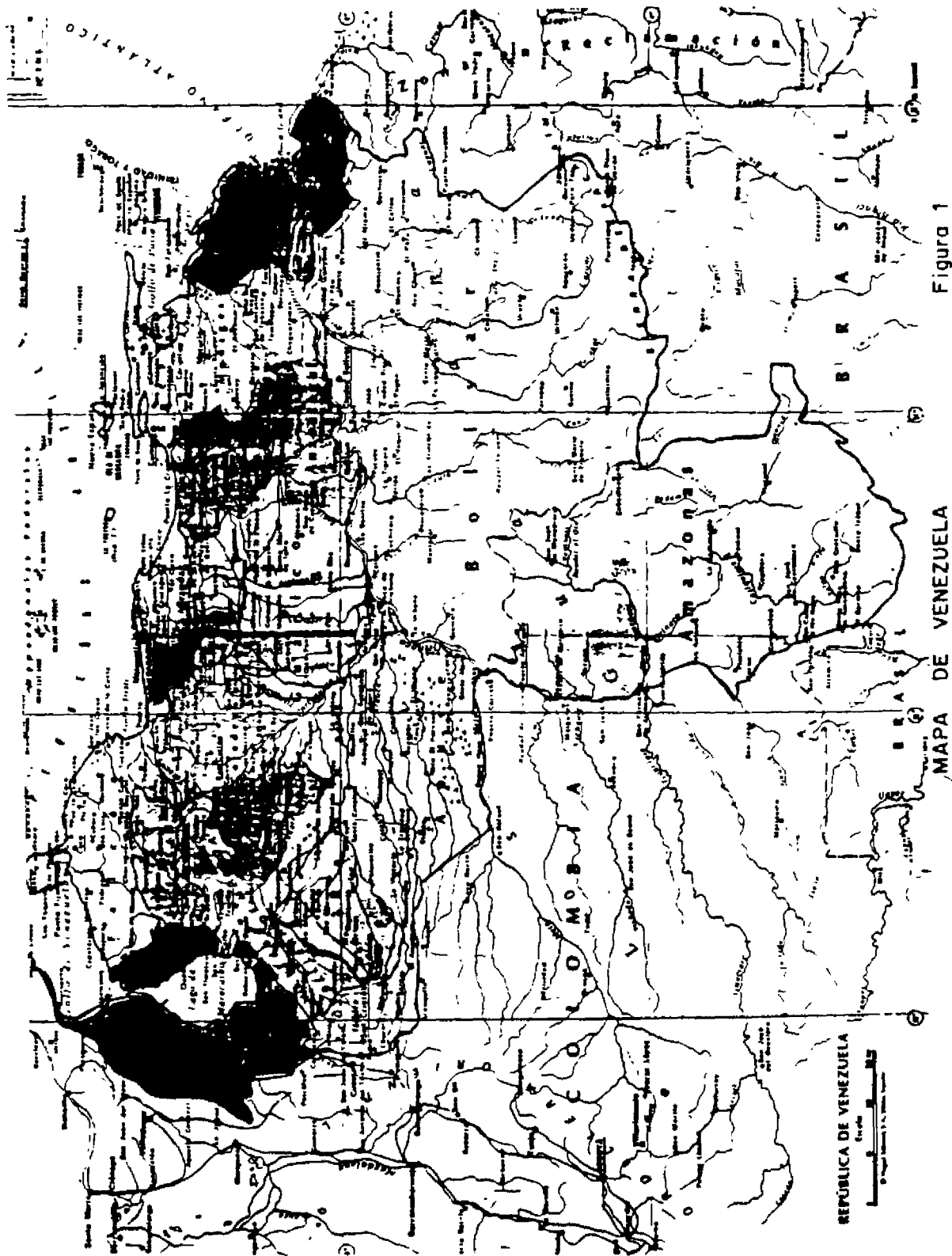
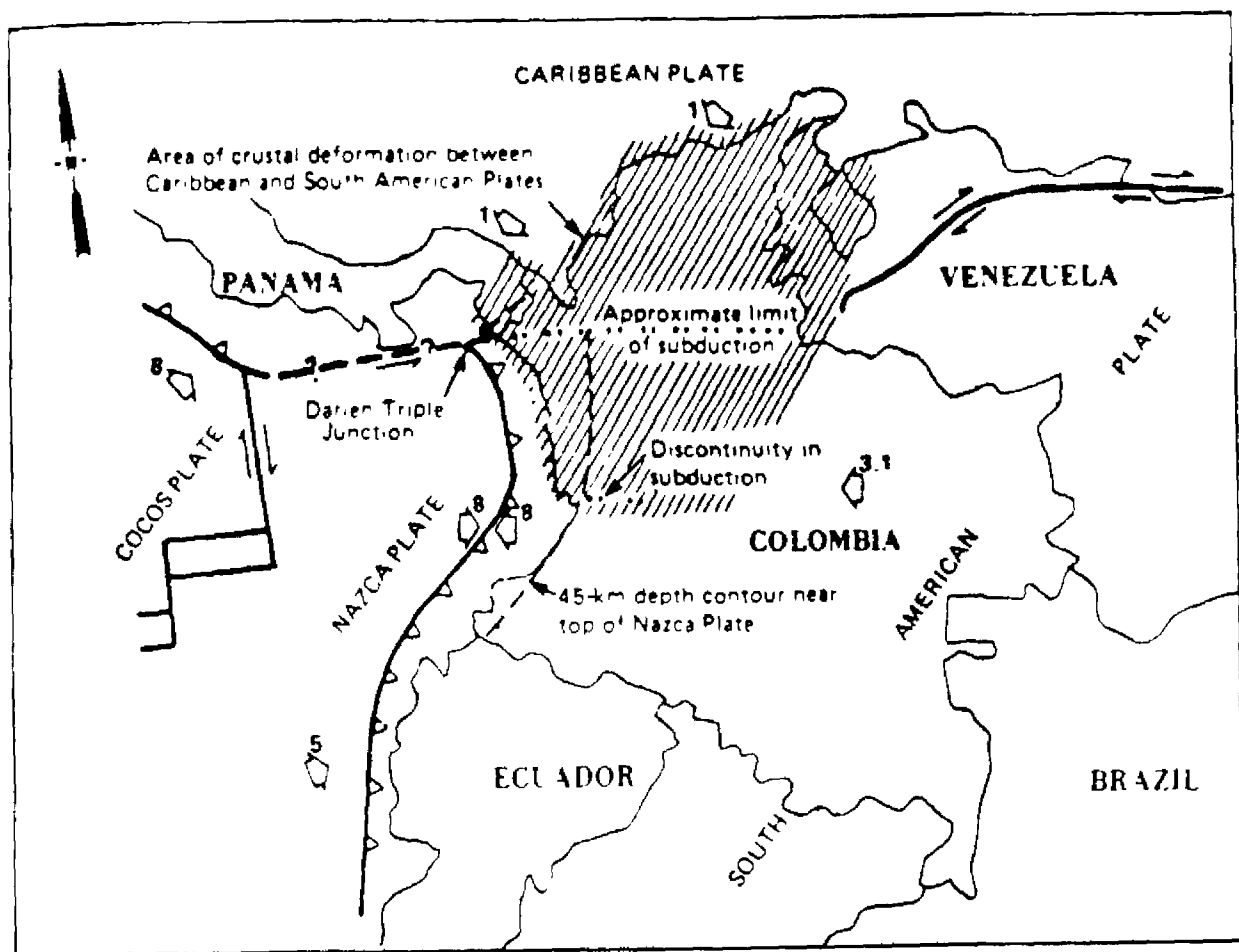


Figura 1

MAPA DE VENEZUELA

REPÚBLICA DE VENEZUELA



EXPLANATION

- PLATE BOUNDARIES**
-  Active transform fault
 -  Subduction zone at surface trace of Benioff zone
 -  Active spreading ridge
 -  Absolute plate motion in cm/yr (from Minster and Jordan, 1978)

0 250 500 km

Project: COSTA ORIENTAL DIKES
Project No. 41693B - 1000

TECTONIC MODEL OF NORTHWESTERN
SOUTH AMERICA

Fig. 3

WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS

'PRINCIPALES FALLAS ACTIVAS EN VENEZUELA Y REGIONES VECINAS

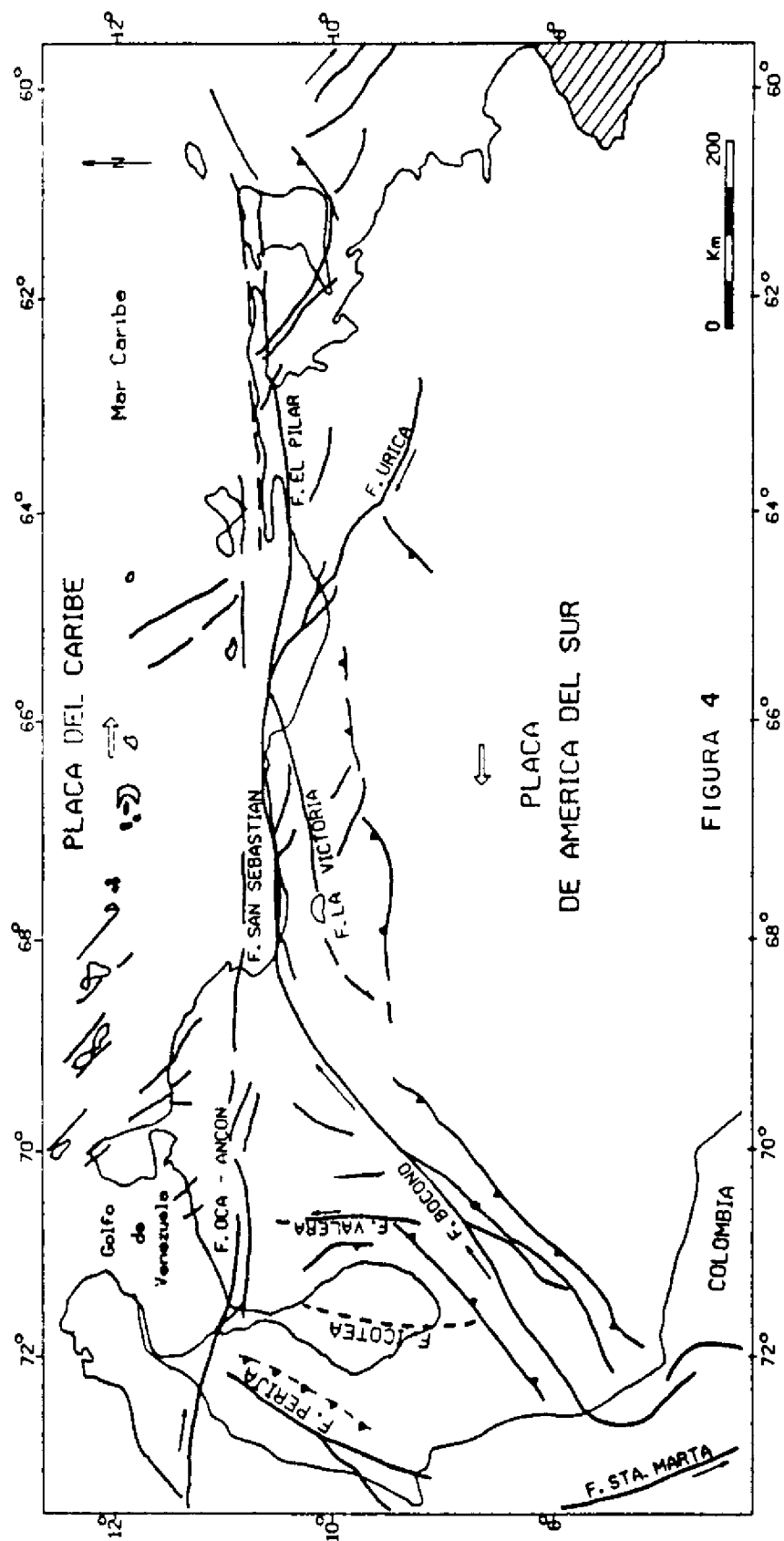


FIGURA 4



SISTEMA DE PROTECCION COSTANERO MEDIDAS DE MITIGACION

RIESGO SISMICO EN LA C.O.L.M.

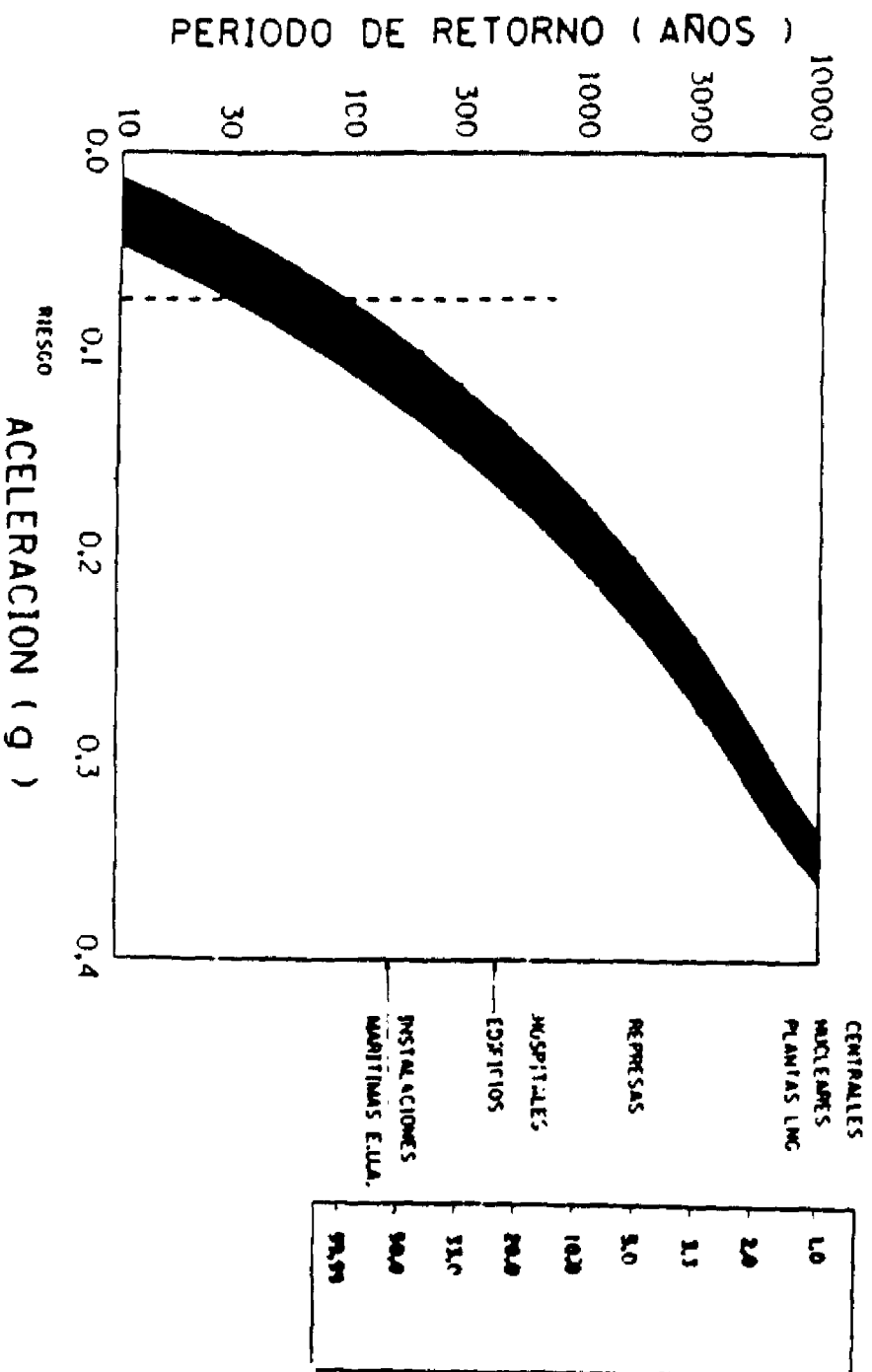
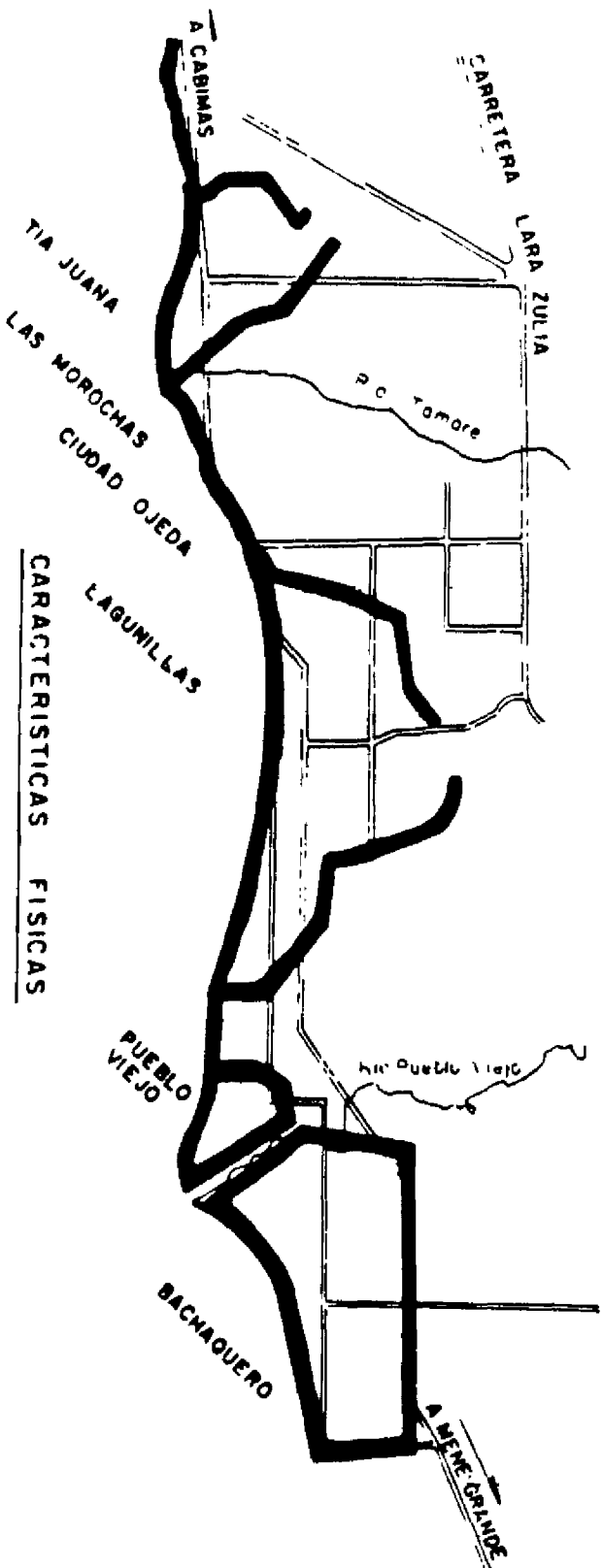


Figura 7



SISTEMA DE PROTECCION COSTANERA



CARACTERISTICAS FISICAS

- DIQUES COSTANEROS 47 kms.
- DIQUES INTERIORES . 59 kms
- CANALES DE DRENAJE 490 kms
- CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO



SISTEMA DE PROTECCION COSTANERA



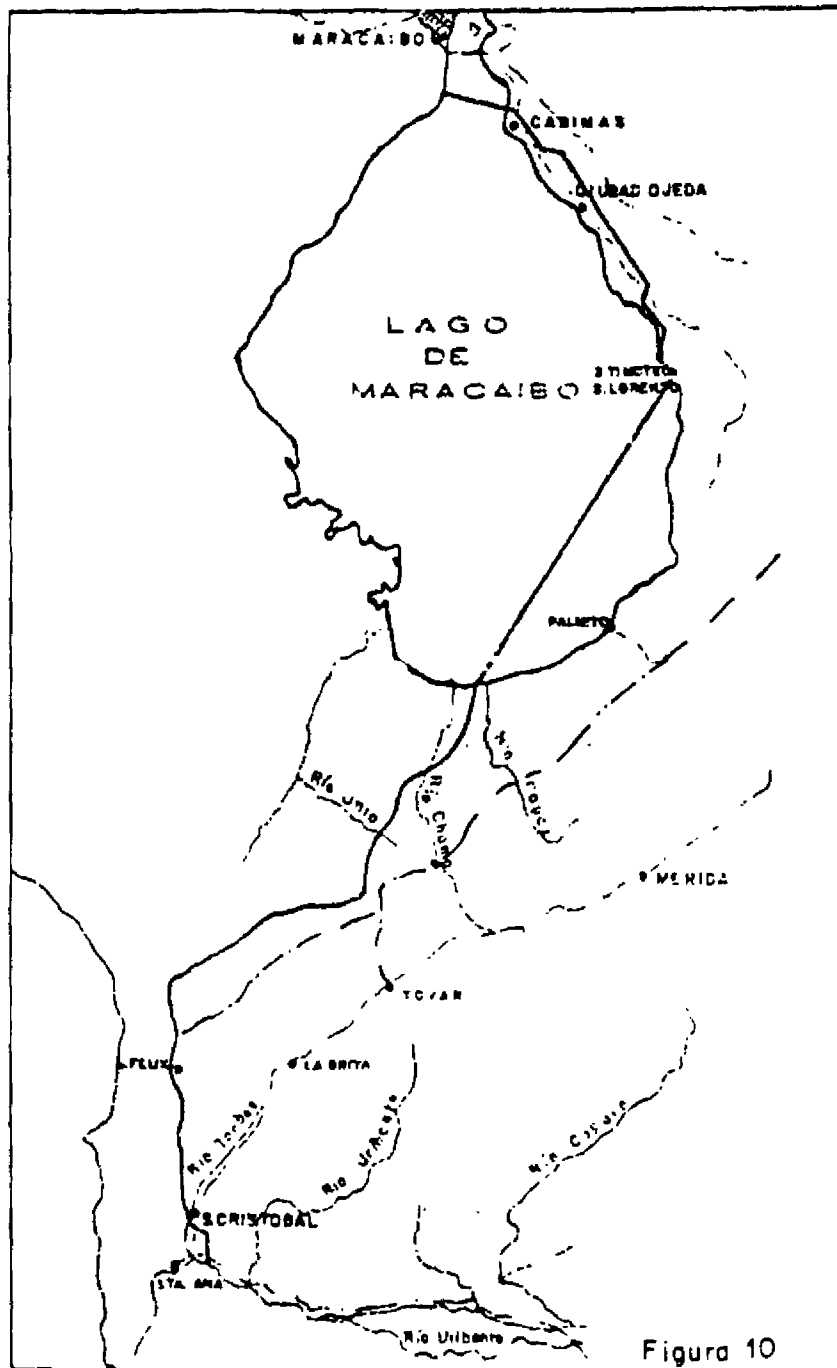
BERMA AGUAS ABAJO



MEJORAMIENTO DE SUELO (PILAS DE COMPACTACION)



ENROCADO ADICIONAL AGUAS ARRIBA



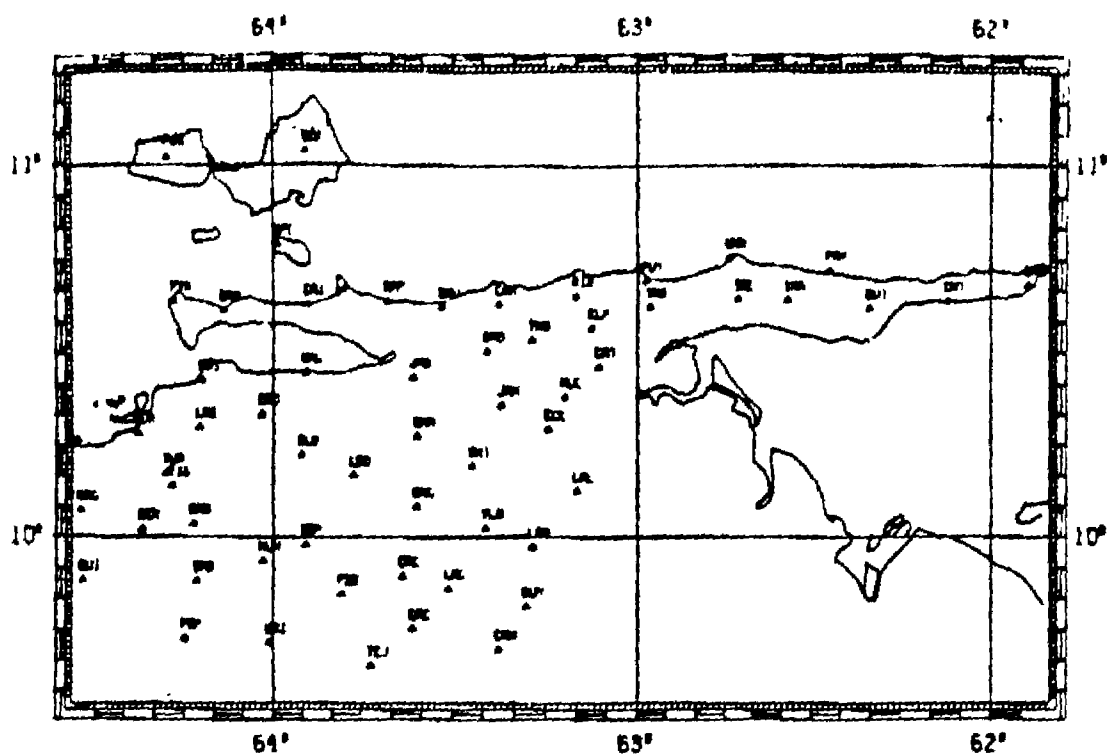


Fig. 1a - Eastern area seismological network

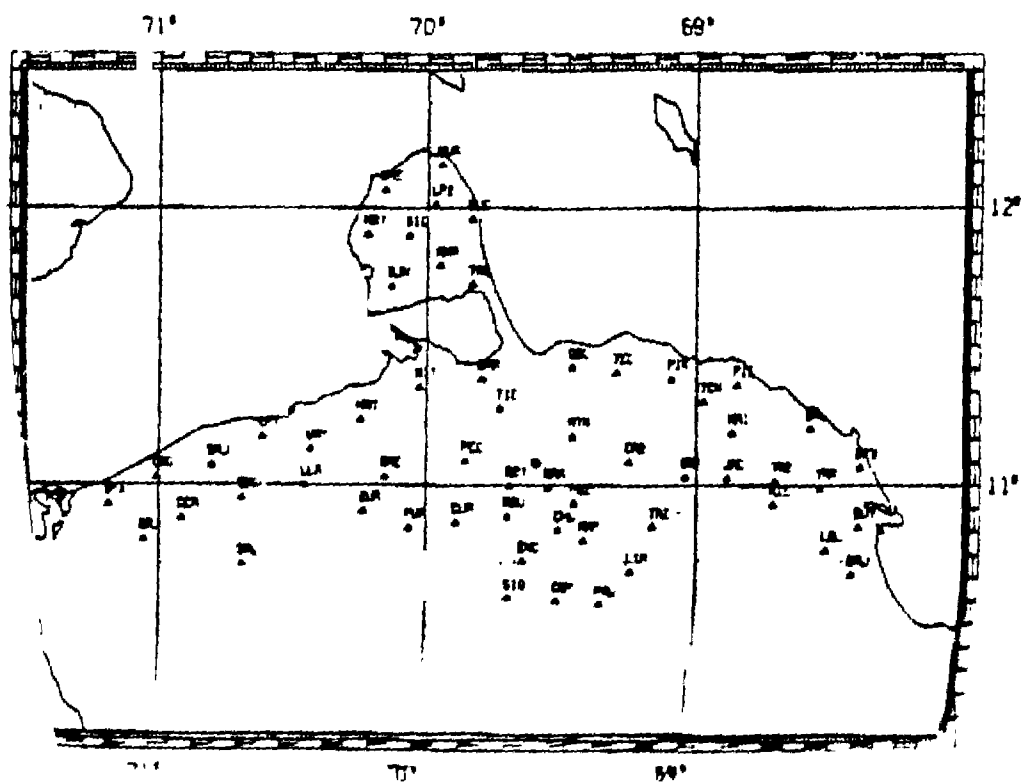


Fig. 1b - Western area seismological network

Figura 1.

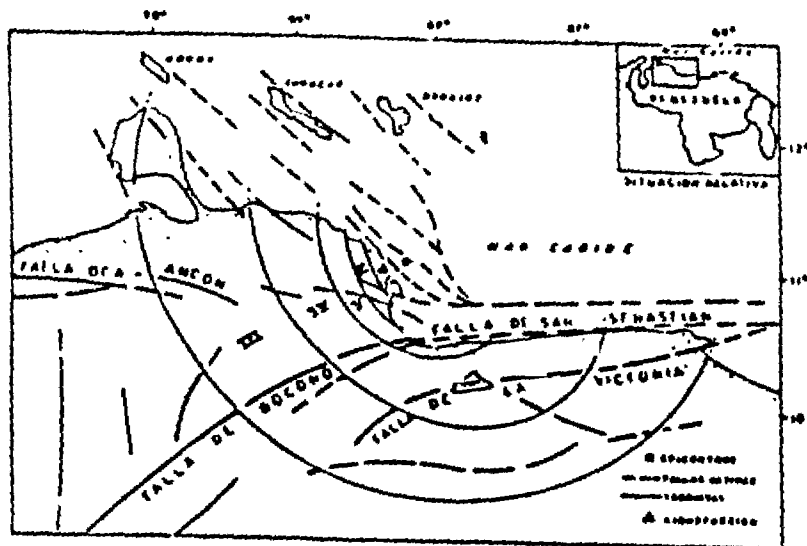
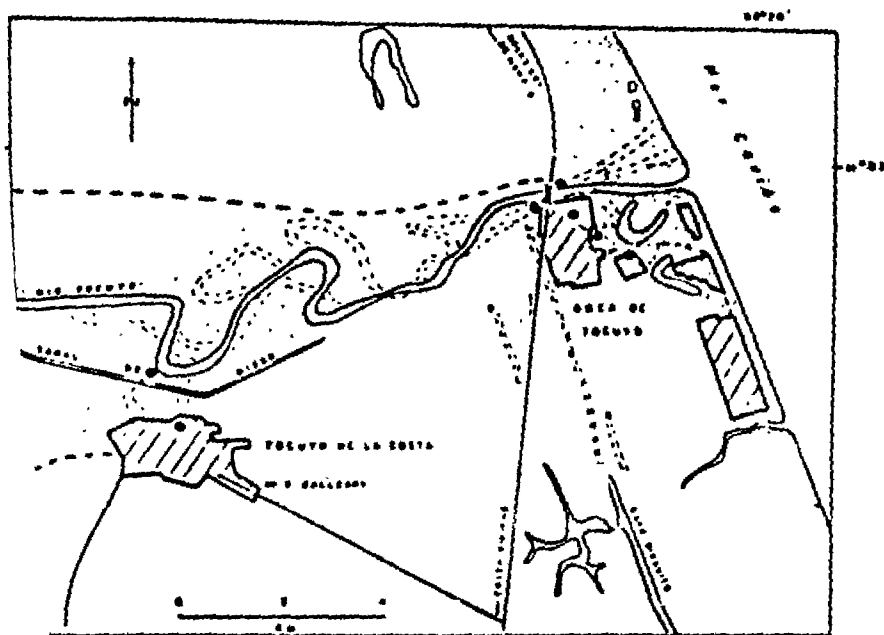


Fig. 3. Ubicación de la zona epicentral y su relación con las principales fallas activas de la región nor-central de Venezuela. Adaptado de (5) y (7).



4. Ubicación de las zonas licuadas en las poblaciones de Tucuyo de la Costa y Boca de Tucuyo (puntos negros).