

I TALLER LATINOAMERICANO REDUCCION DE LOS EFECTOS DE LOS DESASTRES NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA ENERGETICA

LA EVALUACION Y MITIGACION DEL RIESGO SISMICO EN LAS INSTALACIONES DE LA INDUSTRIA PETROLERA VENEZOLANA

Ing. Juan Murria
FUNVISIS, FAX (5865) 305608

RESUMEN

Las instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera nacional (IPPCN) se extienden a lo largo y ancho de Venezuela. Gran parte de las mismas (pozos, petroleros, refinerías, oleoductos, plantas de distribución de productos, plantas de compresión de gas) están ubicadas en zonas de baja, moderada y alta sismicidad, por lo que en 1991 Petróleos de Venezuela (PDVSA) encomendó a INTEVEP, su Centro de Investigación y Desarrollo, la elaboración de un programa para la evaluación y mitigación del riesgo sísmico en las instalaciones críticas de la industria. Este proyecto se está desarrollando con el decidido apoyo de las filiales operadoras (CORPOVEN, LAGOVEN Y MARAVEN,) y tiene una duración estimada de 10 años y un costo aproximado de 500 millones de bolívares (unos 25 millones de dólares). A la fecha se han evaluado las estructuras y equipos críticos en las refinerías de Amuay, Cardón y Puerto La Cruz, así como en cuatro plantas en el Lago de Maracaibo.

I. INTRODUCCION

La Industria Petrolera Nacional fue nacionalizada en 1976. El Estado Venezolano, a través de Petróleos de Venezuela (PDVSA), es el único propietario de dicha industria. Posteriormente, la industria petroquímica y carbonífera pasaron también a formar parte de PDVSA. El grupo de empresas de PDVSA se conoce por IPPCN, acrónimo de "Industria Petrolera, Petroquímica y Carbonífera Nacional".

En 1991 PDVSA decidió realizar un estudio con el objetivo de evaluar y mitigar el riesgo sísmico de las instalaciones críticas de la IPPCN. Gran parte de las mismas (pozos, petroleros, refinerías, oleoductos, plantas de distribución de productos, plantas de compresión de gas, plantas termoeléctricas, etc.) están ubicadas en zonas de baja, moderada y alta sismicidad (Figuras 1, 2 y 3). El estudio con una duración estimada de 10 años y un costo estimado del orden de 500 millones de bolívares (unos 25 millones de dólares) está siendo coordinado por INTEVEP con la activa participación de CORPOVEN, LAGOVEN, MARAVEN. (Gajardo et al, 1990)

La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) desarrolla para INTEVEP los estudios de geología sísmica y sismicidad.

Las Universidades nacionales (Universidad de los Andes, Universidad de Oriente Universidad Central de Venezuela entre otras) participan también en este estudio.

Se cuenta, además con la participación de empresas consultoras tanto nacionales como foráneas.

II. OBJETIVOS

Los objetivos del estudio son:

- Evaluar la amenaza sísmica en las áreas de interés petrolero y petroquímico mediante estudios de geología sísmica, sismicidad, neotectónica e instalación de instrumental idóneo.
- Cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones críticas de la IPPCN.
- Evaluar opciones para mejorar condiciones de seguridad e integridad de las instalaciones y

proponer soluciones específicas.

- Proponer guías y normas de diseño sismo-resistente para estructuras típicas de la industria.
- Establecer bases conceptuales para la elaboración de medidas de prevención y los correspondientes planes de contingencia.
- Ampliar las redes sismológicas y acelerográficas nacionales.

III. JUSTIFICACION

Los daños observados durante eventos sísmicos recientes, (Murria et al, 1994) evidencian que las instalaciones de la IPPCN podrían sufrir los efectos de un terremoto, produciendo pérdidas humanas y económicas considerables, que afectarían tanto a la industria como a los habitantes de áreas circunvecinas.

Los criterios y normas empleadas para el diseño de algunas instalaciones críticas con muchos años de servicio, podrían estar obsoletas o no ajustarse a los requerimientos sismo-resistentes actuales. Además, la operación prolongada de estas instalaciones se traduce en un deterioro de su comportamiento estructural.

Dentro de una política de mitigación de riesgos sísmicos, se incrementaría la seguridad de las instalaciones, aplicando medidas de mitigación y realizando una adecuada planificación de mantenimiento y mejoras.

Este estudio es una contribución a la **DECADA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES** que se inició en 1990. **ALCANCE**

El alcance propuesto contempla los siguientes aspectos:

- Evaluación de los niveles de amenaza sísmica en base a la información geológica, geofísica, geotécnica y sismológica.
- Diagnóstico de los niveles de seguridad de las instalaciones críticas ante efectos sísmicos y sus efectos secundarios.

- Preparación de guías y normas de diseño sismo-resistente para estructuras petroleras y petroquímicas típicas, basadas en las normas existentes en otros países y en desarrollos propios.

- Recomendaciones sobre:

- Acciones inmediatas que permitan incrementar la seguridad en instalaciones específicas.

- Criterios de verificación y de adaptación de modificaciones a aplicar en instalaciones existentes.

- Medidas que permitan reducir el riesgo sísmico.

- Identificación de los modos de falla, probabilidad de colapso e impacto de las fallas para evaluar la confiabilidad y compararla con el riesgo admisible a establecer para cada instalación.

- Definición de los diferentes escenarios asociados con el colapso de estructuras críticas de la IPPCN, a fin de que sirvan de base para la preparación de planes de contingencia.

- Densificación de las redes sismológicas y acelerográficas existentes para mejorar la capacidad de detección de eventos sísmicos.

IV. METODOLOGIA PROPUESTA

La metodología a utilizar se presenta a continuación:

AMENAZA SISMICA:

Evaluación probabilística de la amenaza sísmica, mediante el empleo de información geológica, geofísica, geotécnica y sismológica. A partir de esta información se determinarán parámetros de diseño sismo-resistente.

RIESGO GEOTECNICO ASOCIADO:

Evaluación de los riesgos geotécnicos asociados a terremotos, tales como: asentamientos diferenciales, licuación, agrietamiento, amplificación dinámica local, etc., mediante el uso de la información obtenida de sondeos geotécnicos, geofísica somera, geología reciente,

mediciones in situ y modelos de caracterización de suelos.

VULNERABILIDAD Y RIESGO SISMICO:

Evaluación de confiabilidad sísmica de la principales estructuras de cada instalación. Además, se cuantificará la vulnerabilidad global de las instalaciones críticas y, en los casos necesarios, se emitirán recomendaciones para mejorar su seguridad

GUIAS Y NORMAS DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE:

Recopilación y evaluación de información existente sobre guías y normas de diseño sismo-resistente para estructuras petroleras y petroquímicas y adaptación o elaboración, con base en las condiciones locales, de normas de diseño sismo-resistentes específicas.

PLANES DE CONTINGENCIA:

A través del análisis de los modos de colapso de estructuras críticas y su impacto asociado, mediante simulación numérica o experimental, se definirán escenarios y se elaborarán los correspondientes planes de contingencia.

V. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

A la fecha este es el estado de conocimiento:

SISMICIDAD

Bases de datos actualizadas de:

- Sismicidad Histórica (1500 - 1900)
- Sismicidad Instrumental (1900 - 1994)

Redes Sísmológicas:

- Red Nacional (FUNVISIS): 15 estaciones en toda Venezuela. Cumple funciones de Servicio Sísmológico Nacional
- Universidad de Los Andes (ULA): Red local en

los Andes Merideños con 15 estaciones telemétricas.

- EDELCA (Presa Raúl Leoni, Guri, al sur de Venezuela): Red local con 9 estaciones telemétricas.

- CADAFE (Sistema Uribante-Caparo, al sudeste de Venezuela): Red local de 6 estaciones, operados por ULA

- Universidad de Oriente (UDO): Operan 3 estaciones de la Red Nacional

- IPPCN: Red local telemétrica y automática en la cuenca del Lago de Maracaibo, con 18 estaciones funcionando y 6 adicionales en fase de instalación.

Redes acelerográficas:

- FUNVISIS: Red Nacional con 60 acelerógrafos.
- EDELCA: 6 acelerógrafos en la Presa del Guri, al sur de Venezuela.

- CADAFE: 5 acelerógrafos en Uribante-Caparo, al sudoeste del país.

- IPPCN: 13 acelerógrafos en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo y

2 para el proyecto SUMANDES, poliducto entre Maracaibo y El Vigía en el occidentes de Venezuela.

SISMOTECTONICA

Se ha cubierto alrededor de un 70% de las áreas de interés petrolero y petroquímico

AMENAZA SISMICA

Se ha evaluado la amenaza sísmica en aproximadamente el 60% de las áreas de interés de la IPPCN

VULNERABILIDAD

La IPPCN cuenta con la capacidad analítica y experimental para evaluar comportamiento dinámico de estructuras. Adicionalmente se están desarrollando metodologías para el análisis de vulnerabilidad global de instalaciones complejas.

GUIAS Y NORMAS DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE

Se han desarrollado bases conceptuales para el análisis de confiabilidad y diseño sismo-resistente de tanques cilíndricos y tuberías enterradas. Se encuentra en proceso de preparación una guía específica para tanques de almacenamiento.

Se elaboraron , además, guías de diseño para estructuras lacustres y marinas.

VI. CRITERIOS PARA LA JERARQUIZACION DE INSTALACIONES CRITICAS

Para la adecuada jerarquización de las instalaciones críticas se utilizaron los siguientes criterios, con sus respectivos pesos ponderados.

- Estimación de daños potenciales
- Cercanía y características de la población circundante
- Riesgos asociados con la producción y con los productos manejados.
- Valor y tiempo de reposición de la instalación
- Edad de la instalación.
- Impacto ambiental.
- Evaluación de riesgo mayores realizada por la Coordinación de Protección Integral de PDVSA

Las instalaciones, críticas más importantes son en orden descendiente de utilidad: (Figura 1):

1. Refinería Puerto La Cruz en el oriente de Venezuela
2. Complejo Petroquímico Morón-El Palito en el centro norte del país.
3. Complejo Petroquímico El Tablazo en el

nordeste del Lago de Maracaibo

4. Refinería de Amuay en la Península de Paraguaná
5. Refinería de Cardón en la Península de Paraguaná
6. Sistema SAAM en centro norte del país.
7. Planta de Distribución Catia La Mar en el centro norte del país
8. Patio de tanques La Salina en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo
9. Planta de Distribución de Cantinas en el centro norte del país
10. Complejo Criogenico y Petroquímico de Oriente

Esta jerarquización es preliminar y deberá ser revisada junto con las filiales de PDVSA.

VII. PROYECTOS EJECUTADOS

A la fecha se han ejecutado los siguientes proyectos:

RIESGO SISMICO PARA EL PROYECTO SUMANDES

El proyecto SUMANDES consiste en un poliducto de 8" que va desde Maracaibo a la Planta de Distribución de El Vigía en el estado Mérida (Figura 1).

Este proyecto facilita la distribución de productos de hidrocarburos en la zona de los Andes Venezolanos y disminuye considerablemente el tránsito de camiones tanque por las carreteras de la región.

El proyecto de riesgo sísmico para SUMANDES cubrió, entre otros los siguientes aspectos:

- Estudio del potencial sismogénico de las fallas geológicas de la región con miras a la evaluación de la amenaza sísmica.
- Definición de parámetros de diseño dinámico de las instalaciones.
- Preparación de recomendaciones para minimizar los efectos de un sismo en las tuberías entregadas.

- Estudio detallado, incluyendo aspectos sísmicos y geotécnicos, del área de la Planta de Distribución de El Vigía.

RIESGO SISMICO EN LAS REFINERIAS DE PARAGUANA

Se ha concluido el estudio de la amenaza sísmica en las áreas de las Refinerías de Amuay y Cardón (Figura 1), en base a la evaluación de la sismicidad regional.

ESTUDIO DEL SISMO DE BOCA DEL TOCUYO

El 30 de Abril de 1989 ocurrieron dos sismos de magnitud $m_b = 6.1$ y $m_b = 6.7$. El epicentro fue localizado unos 11 Km. al este de la población de Boca del Tucuyo en el Mar Caribe. (Figura 3)

La IPPCN decidió estudiar con detalle este sismo debido a la extensa licuación de suelos a pesar de su relativamente baja magnitud y a la circunstancia que este sismo ocurrió a 250 Km. de las Refinerías de Amuay y Cardón, ubicados en la Península de Paraguaná. (Beltran y De Santis, 1990; De Santis et al, 1990, Murria et al, 1994).

Los suelos licuados presentan características similares a los suelos existentes en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, donde están ubicados los diques de protección costanera. (Figura 4)

VIII. PROYECTOS EN PROGRESO

SISTEMAS DE PROTECCION DE LA COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO

Los yacimientos petroleros se extienden prácticamente a todo lo largo de la Costa Oriental, tanto en tierra como en el Lago, desde Cabimas hasta Mene Grande. (Figura 4).

El principal mecanismo de producción de los yacimientos es la compactación cuya manifestación superficial es un hundimiento progresivo y lento de la superficie que en algunos puntos excede los 5 metros. Las áreas de hundimiento coinciden en forma general con los campos petroleros de Tía Juana, Lagunillas y

Bachaquero. (Figura 5)

El fenómeno de hundimiento, aunado a la geomorfología de la zona, (tierras bajas y anegadizas escasamente sobre el nivel del Lago), trajo como consecuencia extensas áreas de terreno bajo el nivel del Lago que debían ser protegidas tanto de las aguas del Lago como de las provenientes de la escorrentía de las áreas circunvecinas mediante diques costaneros, diques interiores y un sistema de drenajes que se conoce como SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LA COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO. (Murria, 1991).

Dentro de las áreas protegidas por el sistema habitan más de 60.000 personas. El sistema protege, además, instalaciones petroleras con un valor de reemplazo que excede los 10.000 MM\$. Por otro lado, la cantidad de crudo que se produce o se maneja a través de las áreas protegidas y provenientes tanto del Lago es del orden de 1,5 millones de barriles diarios, es decir, alrededor de un 60% de la producción nacional.

En el diseño de los diques costaneros se ha tomado en cuenta todos los factores que puedan afectar la integridad de los mismos desde el punto de vista de mecánica de suelos, ingeniería hidráulica, ingeniería de costas, hundimiento (subsistencia), el efecto de cargas sísmicas y las características de los suelos de fundación.

El Sistema de Protección Costanera ha sido construido y mantenido utilizando los más avanzados conocimientos y técnicas de ingeniería disponibles en sus diferentes etapas de desarrollo. Sin embargo, los estudios realizados recientemente por MARAVEN e INTEVEP, 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. (INTEVEP, 1991), en esta región de baja a moderada sismicidad.

Dicha licuefacción podría originar fallas en los diques costaneros que, de no poder ser controladas, podrían ocasionar la inundación de las áreas bajo el nivel del Lago.

En vista de la importancia que la Costa Oriental

del Lago de Maracaibo reviste para el país, PDVSA ha definido las siguientes acciones a tomar, a través de sus filiales LAGOVEN y MARAVEN con el apoyo de INTEVEP (Murria y Abi Saab, 1985)

- Medidas de prevención
- Medidas de mitigación
- Plan de contingencia

Las medidas de prevención están orientadas a:

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

Las medidas de mitigación que se están implantando consisten básicamente en (Figura 6):

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

A la fecha éstas medidas se han ejecutado en un 90% por MARAVEN y requerirán de una inversión estimada del orden de 50 MM\$ en un periodo de 4 años.

A pesar de las medidas preventivas y 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)

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. (Murria y Angarita, 1992).

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 área afectada
- Recolección y Análisis de Información Básica
 - Cartografía
 - Inventario de Instalaciones e Infraestructura de Servicios
 - Población (Censos y Encuestas)
- Análisis de Escenarios/Evaluación del Impacto
- Elaboración del Plan
 - Contenido
 - Documentación (Anexos, mapas, planos)
- Divulgación
- Adiestramiento y Educación (Ejercicios y Simulacros)
- Actualización y perfeccionamiento

Actualmente se trabaja en las áreas de adiestramiento y educación, así como en su actualización y perfeccionamiento, actividades estas que habrán de continuar mientras el PLAN COLM siga vigente.

CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL DE INSTALACIONES CRITICAS

Actualmente INTEVEP está llevando a cabo un programa de mediciones experimentales de los modos de vibración de las estructuras críticas en las refinerías de Cardón, Amuay y Puerto La Cruz, así como en plantas de compresión de gas en el Lago de Maracaibo (Figura 1).

Estas mediciones permitirán modelar el comportamiento dinámico de dichas estructura y analizar su vulnerabilidad sísmica (Gajardo, 1995)

IMPLANTACION TEMPRANA DE MEDIDAS DE MITIGACION

Es de destacar que , en muchas casos, se implantan de inmediato medidas de mitigación relativamente obvias y sencillas (cambio de pernos de anclaje, aseguramiento de bancos de baterías, refuerzos estructurales sencillos) al detectarse los respectivos problemas.

Esta implantación temprana de las medidas de mitigación permite reducir el riesgo sísmico de una estructura dada sin tener que esperar a finalizar el correspondiente informe final.

IX. CONCLUSIONES

La IPPCN ha venido desarrollando en los últimos años estudios y proyectos dirigidos a la evaluación y mitigación del riesgo sísmico en sus instalaciones críticas

Si bien el ritmo de ejecución de dichos estudios y proyectos se ha visto disminuido por la difícil situación económica que atraviesa el país, no hay duda que esta iniciativa de la Industria Petrolera Venezolana habrá de redundar en beneficios para el país a corto, mediano y largo plazo.

X. BIBLIOGRAFIA

Beltran, C y De Santis, F (1990). Manifestaciones de licuación en Falcón oriental, a consecuencia de los sismos de los meses de Abril y Mayo de 1989. FUNVISIS. Informe interno 34 pp,

De Santis F , Echezuria H., Audemar F , Beltran C., Alviar J. y Ferrer Bus C. (1991) "Los sismos de Abril y Mayo de 1989. Evidencias de Licuación" XI Seminario Venezolano de Geotecnia , S.V.M.S.I.F , Caracas Octubre 1991.

Gajardo , E. (1995) INTEVEP. Comunicación personal.

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 December 1990.

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

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

Murria, J. and Abi Saab, J. (1985) "Engineering and Construction in Areas Subjected to Subsidence Due to Oil Production". 5th Int. (FIG) Symp. on deformation Measurements, Fredericton , N. B. Canada, 1985, pp. 367-373.

Murria, J. y Angarita J. L., (1992) " Plan de Contingencia Contra Riesgos de Inundación en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (PLAN COLM)". Primer Taller, Planes de Contingencia, CEPET, Maracaibo, 28 de Febrero de 1992.

Murria J. , Echezuria H. , Malave G. , De Santis F. y Audemar F. (1994) The 1989 Boca del Tocuyo, Venezuela, Earthquakes Performance of Ground and Soil Structures During Earthquakes, Thirteenth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Published by the Japan Soc. of Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo.

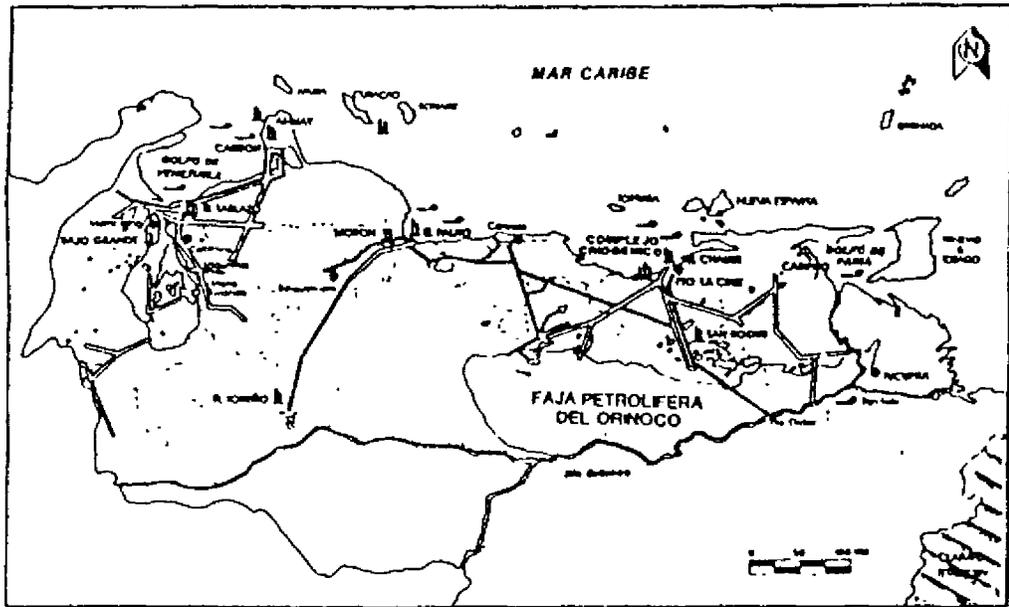


Fig 1 Ubicación de las principales instalaciones de la IPPCN

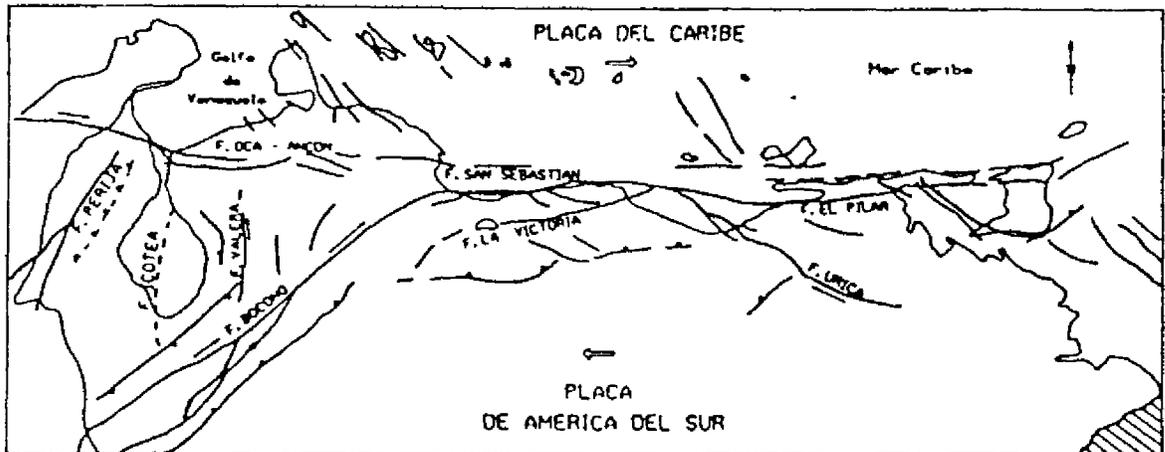


Fig 2 principales fallas activas en Venezuela

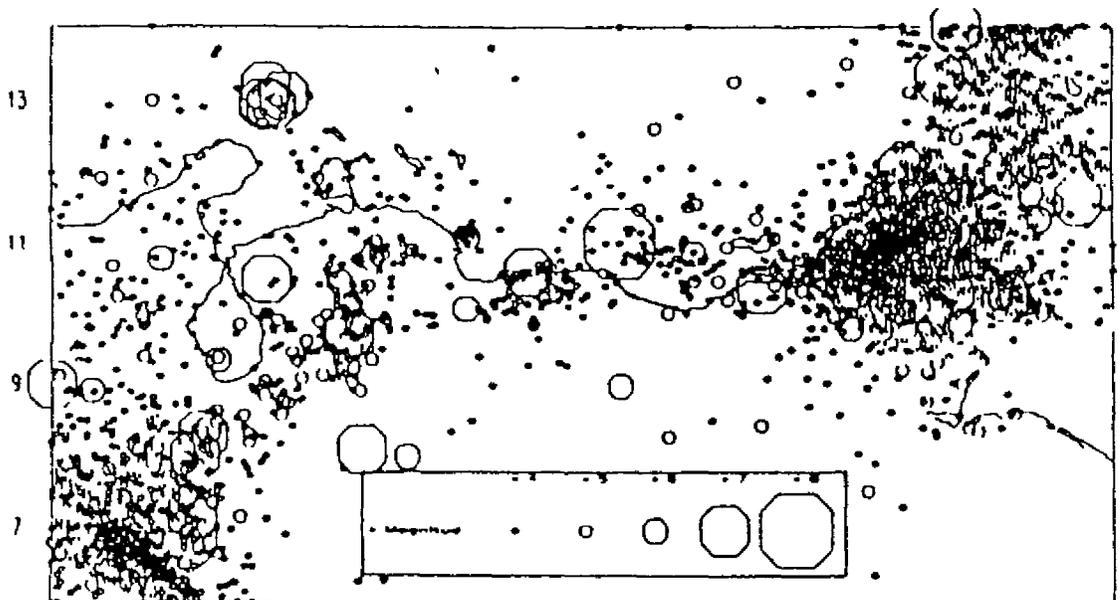


Fig 3 Sismicidad de Venezuela



Figura 4. Costa Oriental del Lago de Maracaibo

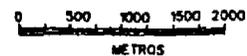
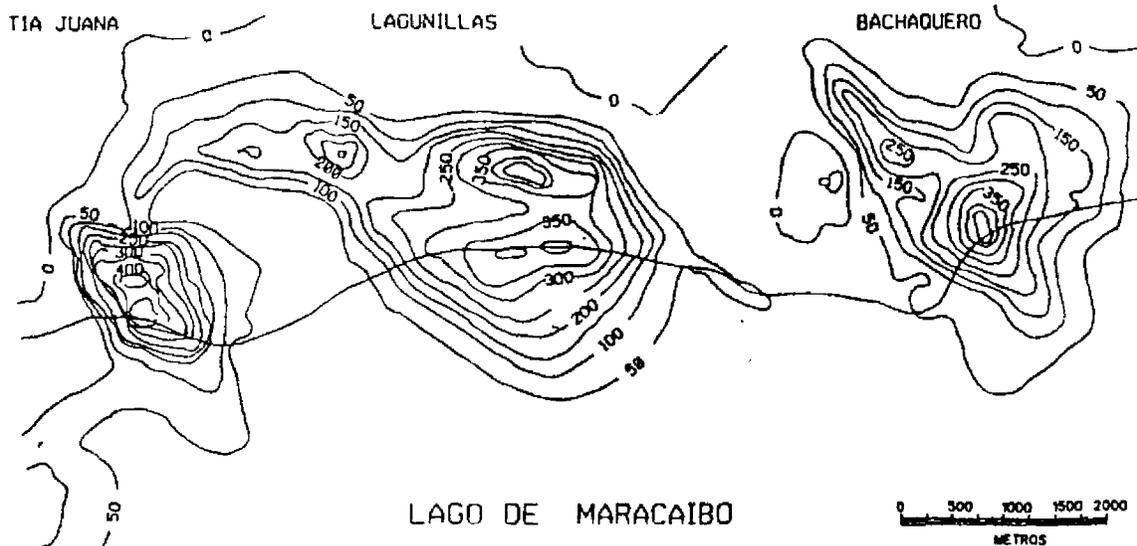
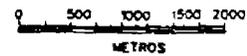
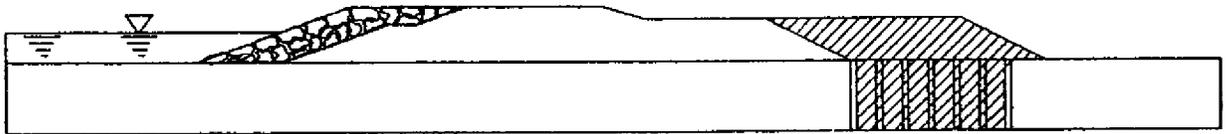


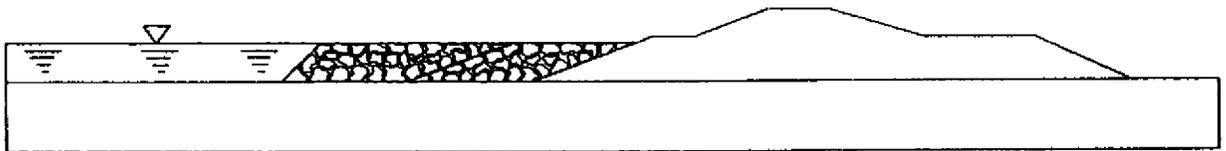
Figura 5. Hundimiento ('Subsidencia') acumulado en Metros (1994)



Bermas Aguas Abajo



Mejora de suelo de fundacion



Ampliacion Rompeolas

Fig.6 Medidas de Mitigacion