

- 18.-MORALES, L. (1931): Los terremotos en Cuba. Revista Sociedad Cubana Ingenieros. Vol. XXIII (Sep-Oct. 1931). La Habana.
- 19.-Periódico "El Tanameño". Año 1914.
- 20.-PEZUELA, J. (1866): Diccionario geográfico, estadístico e histórico de la Isla de Cuba. Madrid.
- 21.-PICHARDO, B. (1854): Geografía de la Isla de Cuba. La Habana.
- 22.-POEY, A. (1855 a): Tablas cronológicas de los temblores de tierra sentidos en la Isla de Cuba desde 1551 a 1855. París.
- 23.-POEY, A. (1855 b): Suplemento a las tablas cronológicas de los temblores de tierra sentidos en la Isla de Cuba desde 1551 a 1855. París.
- 24.-POEY, A. (1857): Catálogo cronológico de temblores de tierra sentidos en las Indias Occidentales de 1530 a 1857. París.
- 25.-SALTERAIN y LEGARRA, P. (1884): Anales de la Academia de Ciencias de la Habana. La Habana.
- 26.- TOMBLIN, J. M. y ROBSON, G. R. (1977): A catalogue of felt earthquakes for Jamaica with references to others islands in the Greater Antilles, 1524-1971. Mines Geol. Division. Special Publ. Jamaica.
- 27.-VINAS, B. (1949): Datos sobre sismos perceptibles en la provincia Santiago de Cuba. Inédito.

# ESTIMACION DE LA PELIGROSIDAD SISMICA DEL AREA DE UBICACION DE LA REFINERIA CIENFUEGOS

Tomás Chuy y Berta González

RESUMEN. Se dan criterios sobre la peligrosidad sísmica del área de ubicación de la Refinería Cienfuegos, considerando la sismicidad, la evaluación de las condiciones geológicas y tectónicas locales y los resultados de la aplicación de un método instrumental de microzonificación sísmica (rigidez sísmica).

Fueron obtenidas dos zonas en el área, una de VI y otra de VII grados de intensidad sísmica (MSK-1964).

ABSTRACT. In this paper seismic hazard criteria of the Cienfuegos Oil Refinery are presented, in them the seismic activity of the central region of Cuba, local tectonic and geological conditions and seismic microzoning instrumental data (acoustic impedance) were taken into account. As a result, two areas of VI and VII intensities (MSK-1964 scale) were obtained.



## 1.- INTRODUCCION

La ubicación de una obra industrial de relativa importancia en una región donde históricamente haya sido reportada actividad sísmica, requiere a la hora de establecer los parámetros de cálculo del proyecto, tener en cuenta criterios de peligrosidad sísmica. Este es el caso de la Refinería Cienfuegos, cuya área de futura ubicación se encuentra en la provincia del mismo nombre, en la que han sido señalados varios sismos perceptibles.

La zona de investigación se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad de Cienfuegos; presentando los siguientes límites naturales: al este el río Salado, al Oeste el río Damují y al Sur la bahía de Jagua; al Norte no presenta límites naturales. Esta zona tiene un área aproximada de 8 kms.<sup>2</sup>

La región de Cienfuegos se localiza en la región Centro-Sur de Cuba, que comprende el Anticlinorium de Trinidad, el cual es de levantamiento reciente. En ella se encuentran formaciones geológicas del Eugeosinclinal constituidas por rocas metamórficas precretácicas; es una zona compleja desde el punto de vista geologo-tectónico, pues presenta un sistema de fallas que enmarca el macizo del Escambray, así como fallas regionales actuales.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se empleó en la evaluación de las condiciones geologo-tectónicas regionales, los confeccionados por diferentes organizaciones<sup>2</sup>; así como las investigaciones de Stroyiziskania<sup>3</sup>, para las condiciones locales.

Fueron empleados también los datos macrosísmicos e instrumentales

sobre la región de estudio<sup>1,4</sup>; teniendo en cuenta a la hora

de establecer el grado base regional de intensidad sísmica, los resultados de las investigaciones de la Gen-Juraguá, en la provincia de Cienfuegos<sup>5</sup>.

De acuerdo con las características geológicas, hidrogeológicas y tectónicas del área de investigación, en la misma fueron determinados en las que era posible esperar, por la influencia conjugada de estos factores, variaciones semejantes de la intensidad sísmica al ser aplicados métodos instrumentales de microzonificación sísmica. En el caso que nos ocupa solo se empleó el método de la rigidez sísmica.

Este método se basa en la comparación de los valores de rigidez sísmica ( $\rho \cdot v$ ) y de otras características de los suelos obtenidos a los trabajos de prospección sísmica; así como de los niveles de las aguas subterráneas. Los resultados de este método permiten la determinación de las variaciones de la intensidad sísmica ( $\Delta I$ ) en grados, comparando las variaciones de dichos parámetros en diferentes puntos, dentro de las zonas establecidas por las condiciones geologo-tectónicas locales, con respecto a un punto patrón<sup>6</sup>.

De acuerdo con esto, fueron utilizados los datos de la velocidad promedio de propagación de las ondas longitudinales  $v$ , obtenidos mediante la relación:

$$\bar{v} = \frac{\sum v_i}{n}$$

debido a que en los datos no se encontraban los valores  $\Delta I$  en los puntos del paso de las ondas por las distintas capas.

Para el cálculo de la rigidez sísmica de las distintas capas, se utilizaron los promedios pesados de las densidades:

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i \cdot h_i}{H}$$

donde  $\rho_i$ ,  $h_i$  son los valores de las densidades de las distintas capas y  $H$  es la profundidad de las capas.



de una tabla general<sup>3</sup> y las potencias de esas capas respectivamente; H es la profundidad total de la capa estudiada.

De acuerdo con la metodología planteada, se utilizó para el cálculo de variación de la intensidad sísmica, la fórmula empírica

$$\Delta I = 1,67 \log \frac{\bar{P}_0 \cdot \bar{v}_0}{\bar{P}_i \cdot \bar{v}_i} + K e^{-0,04 H^2}$$

donde el primer término representa la influencia de las propiedades físicas de los suelos y el segundo término pone de manifiesto el incremento de la intensidad de acuerdo con la profundidad del manto freático H. Los subíndices 0-1 se refieren al punto patrón y el comparado respectivamente; K es un coeficiente que toma el valor 0,5 para suelos compactos y de 1,0 en los casos de suelos granulosos.

Con los resultados obtenidos de estos cálculos se obtuvieron los valores de  $\Delta I$  para cada zona planteada en el área de estudio.

### 3.- CONDICIONES GENERALES DEL ÁREA DE INVESTIGACION

El área de investigación constituye una llanura joven que se encuentra sujeta a la erosión y a la denudación. Se presentan en su superficie manifestaciones de actividad tectónica, suavizados por los elementos de disgregación. Los elementos geomorfológicos se observan con bastante claridad.

La superficie está inclinada de Norte a Sur en dirección a la bahía de Cienfuegos. El relieve de la zona tiene un carácter erosivo-acumulativo, elevado y poco accidentado.

De acuerdo a las características del relieve el territorio se divide en tres subzonas: norte, central y sur<sup>3</sup> (ver figura No. 1).

Región Norte (al Norte de la línea principal I). El terreno es elevado. Las cotas del terreno en su mayoría oscilan entre los 20-30 me-

tros. Se observan descensos locales de las cotas en el cauce y nacimiento del arroyo que la atraviesa. El relieve es de carácter erosivo.

Región Central (entre las líneas principales I y III). Tiene una gran extensión, destacándose en ella dos subregiones; al Norte una bastante plana donde las cotas del relieve oscilan entre los 6 y 12 metros. Al Sur el relieve adquiere una mayor ondulación, con ángulos de inclinación entre los 4° y los 14°. Se destacan los barrancos como accidentes geomorfológicos. Las depresiones están asociadas al cauce y desembocadura de las corrientes fluviales. El carácter del relieve de la región en su totalidad es erosivo-acumulativo.

Región Sur (más al Sur de la línea principal III). El relieve de esta región es plano y bajo, de carácter acumulativo. Las cotas del terreno oscilan entre 1-3 metros y en ocasiones igualan la cota del nivel del mar. El terreno es pantanoso; estando la mayor parte del mismo ocupado por una laguna, con zanjias abiertas en dirección a la bahía.

Podemos destacar que en el territorio bajo estudio, la tectónica es bastante complicada. Se individualizan dos pisos estructurales. El primero comprende las estructuras sobrepuestas correspondientes al Cretácico y Mioceno y el segundo las formaciones estructurales más antiguas del Plioceno y Cuaternario.

El primer complejo se constituyó en el período post-cretácico del desarrollo. Su estilo tectónico es el siguiente: una dislocación de las rocas relativamente baja y existencia de estructuras en forma de depresiones o fosas y losas o masaicos.

El segundo complejo se caracteriza por estructuras en forma de bloques grandes, fosas tectónicas y depresiones, algunas de las cuales continúan su evolución.

Estructuras disyuntivas. Existen en la zona fallas y sistemas de fallas. En la región de Cienfuegos existe una gran fractura regional (falla).



lla Cienfuegos) con la particularidad de que posee tramos donde ha sido rejuvenecida.<sup>2,5.</sup>

#### 4.- SISMICIDAD DE LA REGION

La región en cuestión no se caracteriza por una actividad sísmica alta según los reportes de datos históricos<sup>1</sup>. En esto puede haber influido el hecho de que las densidades de población mayores no estaban localizadas en ella, además de que los medios de comunicación masiva no estaban tan desarrollados como en la actualidad; todo esto unido a que esta región no es de una continua actividad; hizo que la consignación de eventos sísmicos en crónicas o en la prensa fuera pobre.

Así, que solo se tienen datos históricos fundamentalmente desde la segunda mitad del siglo XVIII y no de una forma continua, pues los eventos se agrupan alrededor de determinadas fechas, por lo que es muy probable que se hayan perdido los reportes de muchos sismos de grado III y IV, los cuales por su poca importancia en la mayoría de los casos no eran de interés consignar.

En esta región se destaca la actividad sísmica de las zonas de Trinidad-Tepes de Collantes-Cienfuegos y de Sagua la Grande-Remedios-Yaguajay, en las que se localiza la mayoría de los epicentros macrosísmicos; ambas zonas aparecen con intensidad de VI grados en el Mapa de Intensidades Sísmicas de Cuba por datos históricos<sup>7</sup>,

La valoración de los períodos de "repetibilidad" de los estremecimientos,  $T_z$ , para diferentes grados de intensidad en varios lugares de esta región, teniendo en cuenta tiempos de recurrencia de 100 años, se presenta en la tabla No. 1<sup>1</sup>,

En el área de Cienfuegos se reportan sentidos estremecimientos provocados por sismos en 6 ocasiones, a saber:

20 de agosto de 1849	IV grados
07 de julio de 1852	IV grados
22 de enero de 1880	III grados
- - - 1914	III grados
14 de agosto de 1939	IV grados
29 de julio de 1943	V grados

estos eventos en su mayoría están asociados a sismos ocurridos en otras zonas y que han sido perceptibles en ésta, pues solo en dos ocasiones se refieren solo a Cienfuegos, pudiendo ser esto debido a falta de información de la zona Trinidad-Tepes de Collantes.

El sismo de Trinidad de 1943, el que mayor intensidad reportó en Cienfuegos, debió tener su epicentro localizado en alguna de las fallas regionales que se hayan frente a la costa sur.

Por ser esta región de una actividad sísmica baja, es por lo que se han registrado instrumentalmente pocos eventos en ella, tanto por estaciones del Caribe, como por las estaciones cubanas de Sersa (SC) y Río Carpintero (RCC). Los datos instrumentales de aquellos que han sido perceptibles se presentan en la tabla No. 2.

Durante el año de 1974, las estaciones de la Brigada "Zembla" estuvieron registrando en esta región y solo localizaron eventos de intensidad baja (ninguno fue perceptible) al este de Tepes de Collantes, donde el caso hacia la zona de Cienfuegos.

Registros instrumentales de casi un año (1974) de una red sísmológica de una red provisional ubicada en zonas próximas a la ciudad de Cienfuegos<sup>4</sup>, con amplificaciones del orden de 10, 100 y 1000, ha hecho posible el registro de sismos de baja intensidad. De gran interés, mostraron solo los epicentros de las explosiones en las canteras que en la actualidad se practican en la zona de la Construcción.

De los registros de las estaciones de la Brigada "Zembla" de 1974



y aguas adyacentes<sup>4</sup>, se observa que su distribución sigue la Depresión Caimán y por su lejanía, los mismos no son peligrosos para la zona de ubicación de la Refinería.

Si consideramos la influencia de eventos de una intensidad mayor de VI grados en regiones sísmicas vecinas, tendríamos solo los casos de San Cristóbal (1880) y Remedios (1939) con terremotos de VIII y VII grados respectivamente, los cuales producto de la amortiguación que experimentaron las ondas sísmicas, produjeron intensidades máximas de IV grados (escala MSK-1964); lo que hace poco probable que se presenten daños por terremotos cuyos epicentros se localicen en esas regiones.

Teniendo en cuenta además la ocurrencia de sismos de VI grados de intensidad en la propia región de Cienfuegos (en Trinidad) y los trabajos de investigación realizados para la Central Electro Nuclear en la provincia Cienfuegos, relativos a la posibilidad de un sismo catastrófico en esta región<sup>5</sup>, se le asigna un grado de base de cálculo de VI para tiempos de recurrencia de 100 años, a los efectos de los investigaciones sobre la variación de la intensidad de los terremotos.

#### 5.- DISTRIBUCION DE LAS ZONAS DE MEDICION POR SUS CARACTERISTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS

En el área de ubicación de la Refinería Cienfuegos se realizaron una serie de trabajos de perforación por perfiles, confección de cortes geológico-geofísicos<sup>3</sup>, con los que fué posible individualizar 3 zonas ingeniero-geológicas.

En la selección de estas 3 zonas no se tuvieron en cuenta las características litológicas y las propiedades físicas de los suelos por ser muy semejantes entre sí (ver Tabla No. 3); sino el fallamiento existente en el área (figura No. 1), la variación en los niveles del man-

to freático y el desarrollo de los procesos cárnicos que se manifiestan en la región. Al establecer las fronteras se analizaron también las características de las potencias predominantes de los suelos, así como su afloramiento a la superficie, resultando de ello el esquema de la figura No.2, cuyos detalles se dan a continuación:

**ZONA No. 1. Arcillas arenosas y arenas arcillosas.** Desde el punto de vista tectónico, la zona se considera tranquila, pues solo está afectada por fallas supuestas y de poca importancia (de carácter local) y no se reflejan en la superficie. Los procesos cárnicos se manifiestan en menor medida en las áreas que esta zona comprende. Está constituida por suelos areno-arcillosos y arcillas arenosas en su mayoría los cuales se distribuyen por toda la extensión de su territorio. En esta zona los niveles del manto freático se encuentran por debajo de los 10 metros.

**ZONA No. 2. Terrenos inundados.** Desde el punto de vista tectónico esta zona está afectada por fallas locales de poca importancia (supuestas). Una gran parte de la zona está afectada por procesos cárnicos activos. Está constituida por arenas arcillosas y arcillas arenosas, predominando las primeras. El nivel del manto freático en esta zona es muy elevado llegando en ocasiones (sobre todo en la parte sur del territorio) a inundar los terrenos formando pequeñas lagunas y ciénegas que se destacan en el área.

**ZONA No. 3. Tectónica disyuntiva.** Desde el punto de vista litológico, los suelos de esta zona están constituidos por arenas arcillosas y arcillas arenosas, característica común a toda el área de ubicación. Presenta niveles del manto freático mayores de 10 metros. La zona está afectada por fallas locales de cierta importancia, formando ramificaciones que definen las fronteras de la misma. En algunas porciones de la zona estas afloran a la superficie, sobre todo a lo largo de las intersecciones con el perfil 8.



## 6.- APLICACION DEL METODO DE LA RIGIDEZ SISMICA.

Para la aplicación del método de la rigidez sísmica (microregionalización sísmica), se emplearon los datos de las velocidades de las ondas longitudinales  $v_p$  obtenidas así como los valores de las densidades medias (tabla No. 3) de acuerdo con la distribución de los suelos presente en el área.

En este caso, solo se daban valores de velocidad por los perfiles 8, 10, 14, 16 y 20 (np en las figuras) por lo que el análisis de la variación de la intensidad sísmica  $\Delta I$  para las zonas ingeniero-geológicas planteadas en el epígrafe anterior, se circunscribió a una generalización de estos para toda el área de estudio.

En las tablas No. 4, 5 y 6 se presentan los valores de la variación de la intensidad sísmica para las tres zonas investigadas. Los puntos a que se refieren estas tablas se corresponden con los de medición de las velocidades en los perfiles señalados.

Tomando para cada una de ellas los valores medios de  $\Delta I$ , se obtuvieron los siguientes resultados:

ZONA No. 1 con  $\overline{\Delta I} = 0,36$

ZONA No. 2 con  $\overline{\Delta I} = 0,47$

ZONA No. 3 con  $\overline{\Delta I} = 0,40$

## 7.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con resultados obtenidos se plantea lo siguiente:

- Tomar como grado base regional VI (escala MSK-1964), en la zona de ubicación de la Refinería Cienfuegos para tiempos de recurrencia de 100 años, el cual como se ve en este trabajo es un estimado conservador.
- que aunque no se obtuvo en el cálculo del  $\Delta I$  una diferencia sustancial entre las 3 zonas del área investigada por el método de la rigi-

dez sísmica, las zonas 2 y 3, por sus características específicas de ser terrenos inundados y de una tectónica compleja respectivamente, debían presentar un valor de  $\Delta I$  superior, lo cual se refleja en los valores individuales obtenidos. Este resultado es producto de la poca cantidad de datos instrumentales con respecto a la complejidad del territorio.

-Tomar como valores finales de la intensidad sísmica en el área, los que se presentan en el esquema de microregionalización sísmica (figura No. 3).

-Las áreas comprendidas bajo la denominación ZONA No. 1, en la figura No. 2, son las más adecuadas desde el punto de vista sísmico para la construcción.