

**I
N
P
R
E
S**

PODER EJECUTIVO NACIONAL
MINISTERIO DE ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS
SUBSECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA
REPUBLICA ARGENTINA

ESTUDIO DE LA SISMICIDAD DEL AREA DE
EMPLAZAMIENTO DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO

El Tambolar - Los Caracoles

PROVINCIA DE SAN JUAN

PUBLICACION
TECNICA N° 1

3ra. edición
SAN JUAN Diciembre de 1978

ESTUDIO DE LA SISMICIDAD DEL AREA DE EMPLAZAMIENTO
DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO
"EL TAMBOLAR - LOS CARACOLES"

PROVINCIA DE SAN JUAN

TRABAJO REALIZADO POR EL
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA

I N P R E S

PARA

AGUA Y ENERGIA ELECTRICA

EMPRESA DEL ESTADO

JEFATURA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS - ZONA CUYO

C O N T E N I D O

- 1 - Introducción.
- 2 - Zona Circundante al Area de Emplazamiento.
 - 2.1 - Distribución Geográfica de Epicentros.
 - 2.2 - Distribución Geográfica de Energía Liberada por Sismos.
 - 2.3 - Liberación de Energía de Deformación Acumulada en el Período 1920 - 1973.
 - 2.4 - Distribución de Epicentros en Profundidad.
- 3 - Antecedentes Sísmicos de la Región Circundante al Area de Emplazamiento.
 - 3.1 - Historia Sísmica de la Región.
 - 3.2 - El terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944.
- 4 - Distribución de la Frecuencia de Ocurrencia de Sismos en Función de la Magnitud.
- 5 - Probable Actividad Sísmica Futura.
 - 5.1 - Índice de Sismicidad y Período Medio de Recurrencia.
 - 5.2 - Probabilidad de Ocurrencia de una Cierta Magnitud.
- 6 - Conclusiones.

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1: Terremotos Destructivos Ocurridos en la Región Circundante al Area de Emplazamiento.
- TABLA 2: Períodos Medios de Recurrencia de Sismos en la Región Circundante al Area de Emplazamiento.

LISTA DE ILUSTRACIONES

- FIGURA 1: Actividad Sísmica Registrada en el Area Estudiada en el Intervalo 1920 - 1973.
- FIGURA 2: Curvas de Energía Sísmica de Deformación Liberada Anualmente en el Area Circundante a la Zona de Emplazamiento.
- FIGURA 3: Energía de Deformación Liberada por Sismos en el Intervalo 1920 - 1973 en el Area Estudiada.
- FIGURA 4: Distribución de Sismos en Profundidad en la Zona Circundante al Area de Emplazamiento.
- FIGURA 5: Epicentros de los Terremotos Destructivos ocurridos en la Región.
- FIGURA 6: Curvas Isosistas. Terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944.
- FIGURA 7: Distribución de la Frecuencia Anual de Ocurrencia de Sismos en Función de la Magnitud.
- FIGURA 8: Magnitud Máxima mas probable para un Determinado Intervalo de tiempo.
- FIGURA 9: Curvas de Probabilidad de Ocurrencia de una Cierta Magnitud en Diferentes Intervalos de Tiempo.

ESTUDIO DE LA SISMICIDAD DEL AREA DE EMPLAZAMIENTO
DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO
"EL TAMBOLAR - LOS CARACOLES"

Por: Ing. Juan Carlos CASTANO (1)

1 - INTRODUCCION:

La realización de la obra del Complejo Hidroeléctrico "El Tambolar - Los Caracoles" adquiere trascendental importancia debido a que la misma contribuirá en gran medida al desarrollo económico y social no solamente de la Provincia de San Juan, donde estará ubicada, sino también de todo el centro - oeste argentino. En obras de tal envergadura se hace imprescindible adoptar todas las previsiones necesarias para asegurar la estabilidad de las mismas ante posibles fenómenos destructivos circunstanciales, especialmente en el caso que nos ocupa, los terremotos, ya que el área del futuro emplazamiento de este Complejo Hidroeléctrico está situada dentro de una de las regiones de mayor actividad sísmica del territorio nacional.

Es fácil comprender que el daño por sismos en obras de esta naturaleza no se circunscribe a la pérdida de las instalaciones y al lucro cesante durante su reparación, si ésta

(1) Jefe del Area de Sismología del INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA' (INPRES).

3 - ANTECEDENTES SISMICOS DE LA REGION CIRCUNDANTE A LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO EL "TAMBOLAR LOS CARACOLES":

3.1 Historia Sísmica de la Región:

La historia Sísmica de esta región nos indica que en la misma han ocurrido fuertes terremotos, cuyos niveles de destructividad han sido mayores o menores de acuerdo a los parámetros propios de cada evento y a la proximidad o no de centros poblados. El primero de ellos, llamado el terremoto de Santa Rita, se produjo el 22 de mayo de 1782 ocasionando daños en la ciudad de Mendoza. Desde entonces, hasta el último sismo de San Juan del 10 de junio de 1952, han ocurrido numerosos terremotos, siendo los más importantes, teniendo en cuenta sus características destructivas, los que se presentan en la Tabla 1. Los parámetros fundamentales de algunos de ellos se han determinado a partir de los antecedentes históricos que se poseen, y de la comparación de los mismos con los efectos producidos por terremotos más recientes ocurridos en la región y evaluados instrumentalmente. En la figura 5 se presenta la ubicación geográfica de estos terremotos.

Del análisis detallado de cada uno de ellos, especialmente de los efectos producidos en las construcciones del área abarcada por la perturbación, se desprende que los dos terremotos que liberaron mayor cantidad de energía, y por ende los de mayor magnitud, fueron el terremoto de San Juan -

con los datos instrumentales permitirá analizar la distribución de los sismos en profundidad, la frecuencia anual de ocurrencia de sismos en función de la magnitud de cada evento y la secuencia de liberación de energía sísmica con el tiempo. A partir de los resultados obtenidos del estudio precedente se podrán inferir las características más probables de la actividad sísmica futura, especialmente en lo referente a magnitudes máximas más probables y a períodos de recurrencia de una cierta magnitud en la zona circundante al punto de emplazamiento.

En una próxima etapa, ya iniciada, se determinará específicamente el "Riesgo Sísmico" en el emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico, lo que permitirá encontrar la probabilidad de ocurrencia de una cierta velocidad o aceleración máxima del terreno en el punto de emplazamiento para un cierto intervalo de tiempo.

Finalmente se obtendrán los espectros de proyecto que serán de utilidad directa en el proyecto definitivo de la obra.

2 - ZONA CIRCUNDANTE AL AREA DE EMPLAZAMIENTO:

2.1 Distribución Geográfica de Epicentros:

A pesar de que cada sismo se identifica geográficamente por las coordenadas del epicentro, no debe formarse la falsa idea de que el fenómeno de ocurrencia de sismos es puntual, sino que por el contrario la liberación de energía se

produce a lo largo de planos de fallas, que en ciertos casos llegan a tener una considerable extensión, resultando perturbadas geológicamente áreas relativamente extensas. Se considera al hipocentro como el punto donde comenzó la liberación de energía sísmica de deformación y el epicentro como la proyección del hipocentro en la superficie terrestre. Pero como la energía acumulada no se libera instantáneamente sino que lo hace gradualmente en un limitado intervalo de tiempo, y además como dicha energía no se acumula en un punto sino en un volumen del interior de la tierra, la liberación de la misma da lugar al desplazamiento relativo de grandes bloques y a la consiguiente perturbación de áreas más o menos grandes dependiendo ello de la cantidad de energía liberada. El análisis de la actividad sísmica en superficie, juntamente con la geología y la tectónica regional permite, generalmente, individualizar zonas donde las características sismológicas son más o menos uniformes durante relativamente largos intervalos de tiempo. Dichas zonas consideradas como una unidad sísmicamente activa pueden estudiarse en forma separada del conjunto y analizarse en ellas las características generales de dicha actividad y su evolución en el tiempo, pudiéndose obtener un conjunto de parámetros fundamentales que nos permitirán inferir los rasgos generales de la futura actividad sísmica en la zona en cuestión, suponiendo que dicha actividad se desarrollará en el futuro con las mismas características generales del período previo. Es por ello que cuanto mayor sea el intervalo de tiempo estudiado y más grande la cantidad de datos analizados mayor será la confiabilidad que podrán tener los re

sultados que se obtengan.

Para analizar el caso particular del lugar de emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico El Tambolar - Los Caracoles se obtuvieron los parámetros principales de los sismos más importantes ocurridos en la zona que se extiende entre los 28 y 34 grados de latitud sur y entre los 66 y los 71 grados de longitud oeste durante el período 1920 - 1973. En la figura 1 se presentan los epicentros de dichos sismos y el orden de magnitud de cada uno de ellos. De su observación se desprende inmediatamente que el área de emplazamiento de este Complejo Hidroeléctrico está situada en el interior de una zona de elevada actividad sísmica que incluye la ocurrencia de terremotos destructivos.

2.2 Distribución Geográfica de Energía Liberada por Sismos:

Si consideramos el hecho de que la magnitud de un sismo es una medida directa de la energía liberada por el mismo, y que la relación entre magnitud M , y energía de deformación J , puede expresarse mediante la fórmula:

$$\log. J = 5.7 + 0.75 M$$

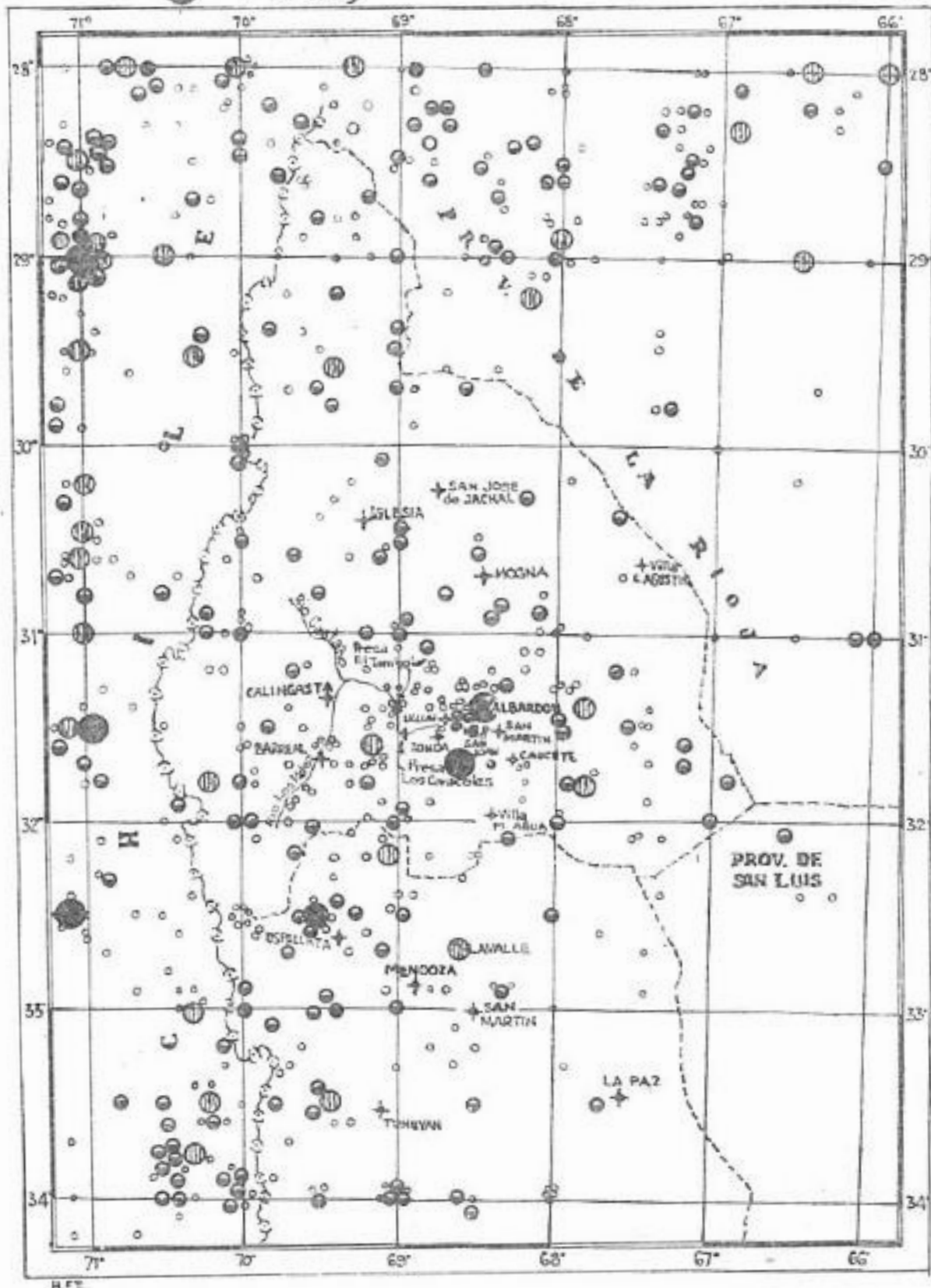
se puede calcular la energía de deformación liberada en cada punto de una cuadrícula, que para nuestro caso particular se eligió de medio grado por medio grado. Con los valores resultantes se trazaron las curvas de igual energía de deformación media anual liberada, obteniéndose el mapa de la figura 2. Del análisis del mismo juntamente con el de la distribución de epicentros de la figura 1 se consideró que la re-

ACTIVIDAD SISMICA REGISTRADA EN EL AREA
ESTUDIADA EN EL INTERVALO 1920-1973

REFERENCIAS

- | | | |
|---|---------|--------------------|
| ○ | 4 a 4,9 | } Magnitud Richter |
| ● | 5 a 5,9 | |
| ⊖ | 6 a 6,9 | |
| ● | 7 a 7,9 | |

Fig. 1

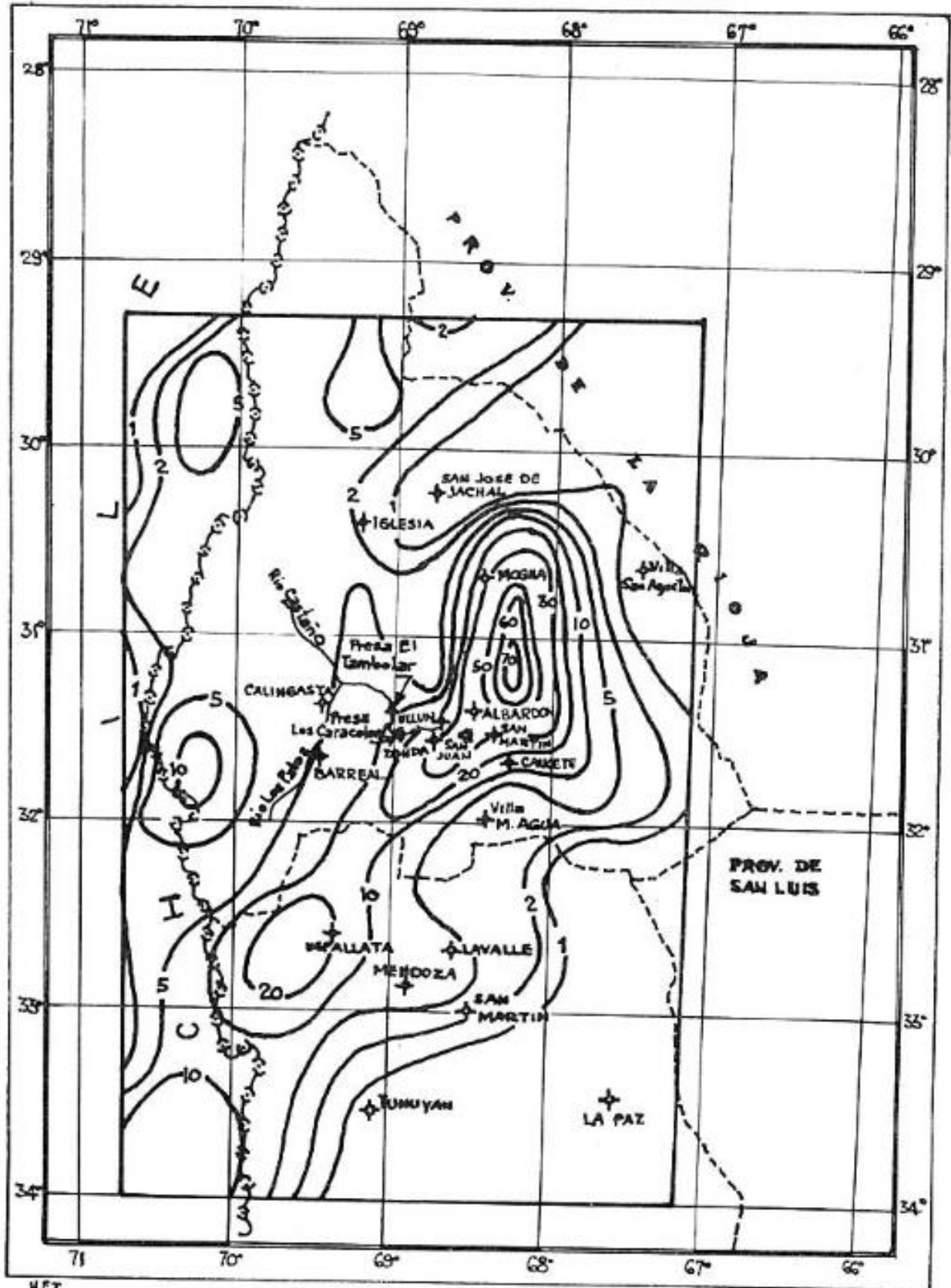


CURVAS DE ENERGIA SISMICA DE DEFORMACION LIBERADA ANUALMENTE EN EL AREA CIRCUNDAANTE A LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO.

Referencias

$A = A \times 10^8 \text{ ergs } \frac{1}{2}$

Fig. 2



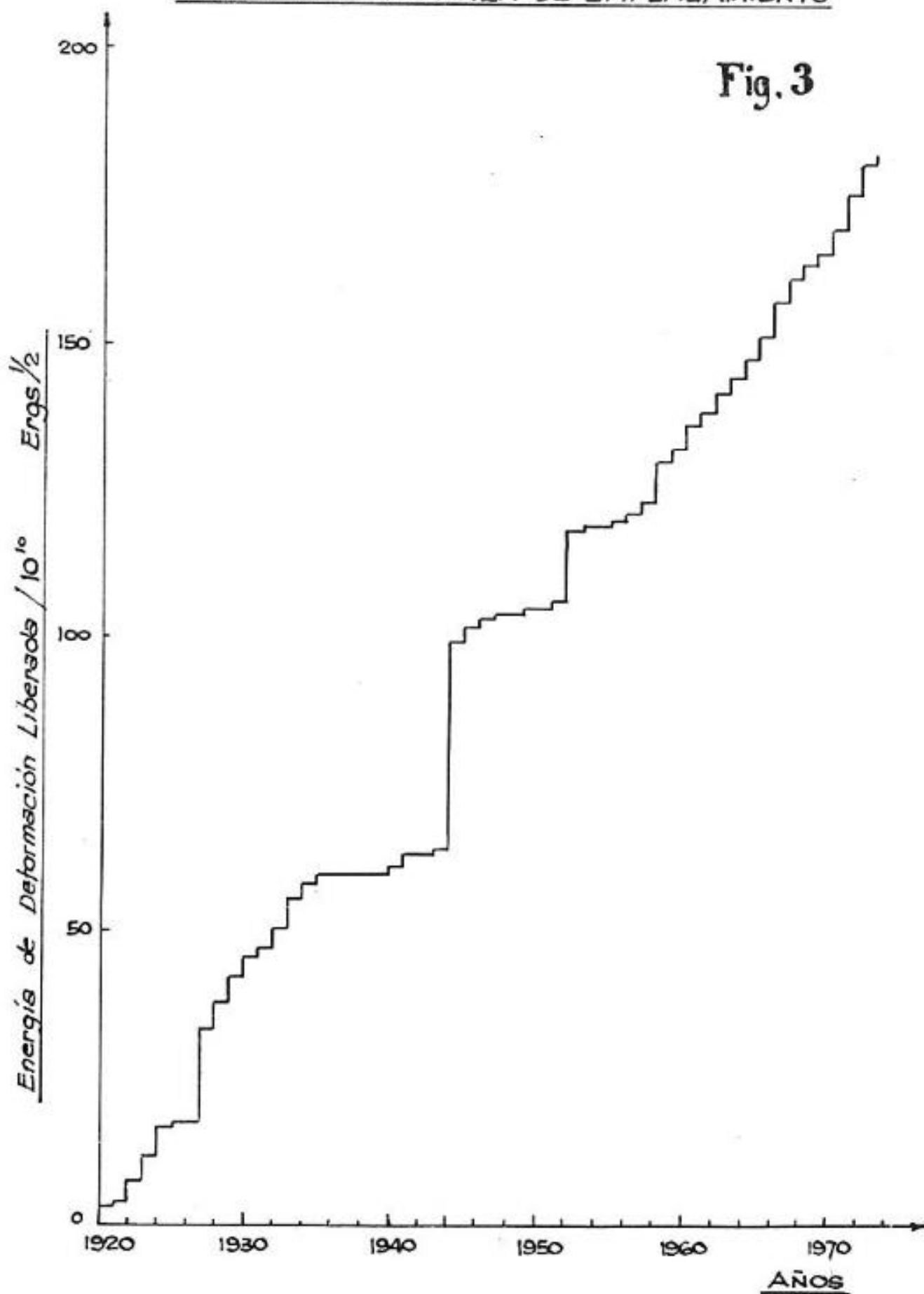
gión sísmicamente activa dentro de la cual se incluye al emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico "El Tambolar - Los Caracoles" se extiende entre los límites que se señalan en la figura 2, ya que en los bordes de esta región el nivel de actividad es muy reducido comparado con el del interior. En consecuencia se define como Región Sísmica Circundante a la zona de Emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico El Tambolar Los Caracoles al área circunscripta por los paralelos 29,3 y 34 grados de latitud sur y por los meridianos 67,2 y 70,7 de longitud oeste.

2.3 Liberación de Energía de Deformación Acumulada en el Período 1920 - 1973:

También se ha estudiado la secuencia de liberación de energía de deformación en el período comprendido entre 1920 y 1973 en la Región Circundante. Los resultados se muestran en la figura 3 en la cual se ha graficado la energía de deformación acumulada anualmente en los cincuenta y cuatro años del análisis. Dicha figura nos muestra que existen intervalos en que la liberación de energía de deformación acumulada es grande pero gradual, correspondiendo a períodos de gran actividad sísmica como son los comprendidos entre 1928 - 1934 y entre 1958 - 1972, mientras que el período que va desde 1934 a 1958 se caracteriza por la pequeña cantidad de energía de deformación liberada gradualmente que se corresponde con una actividad sísmica menor de la normal, pero compensada con la liberación de gran cantidad de energía mediante un solo sis-

ENERGIA DE DEFORMACION LIBERADA POR
SISMOS EN EL INTERVALO 1920-1973, EN LA ZONA
CIRCUNDANTE AL AREA DE EMPLAZAMIENTO

Fig. 3



mo de gran magnitud. Durante dicho período de relativa quietud sísmica, ésto ocurre en dos oportunidades, una el año 1944 y otra el año 1952, lo que al final hace que la tendencia general de liberación de energía de deformación vuelva a su cauce normal medio representado por una recta que pasa por el origen y que da un promedio anual de liberación de energía de deformación igual a $3,3 \times 10^{10}$ ergs 1/2.

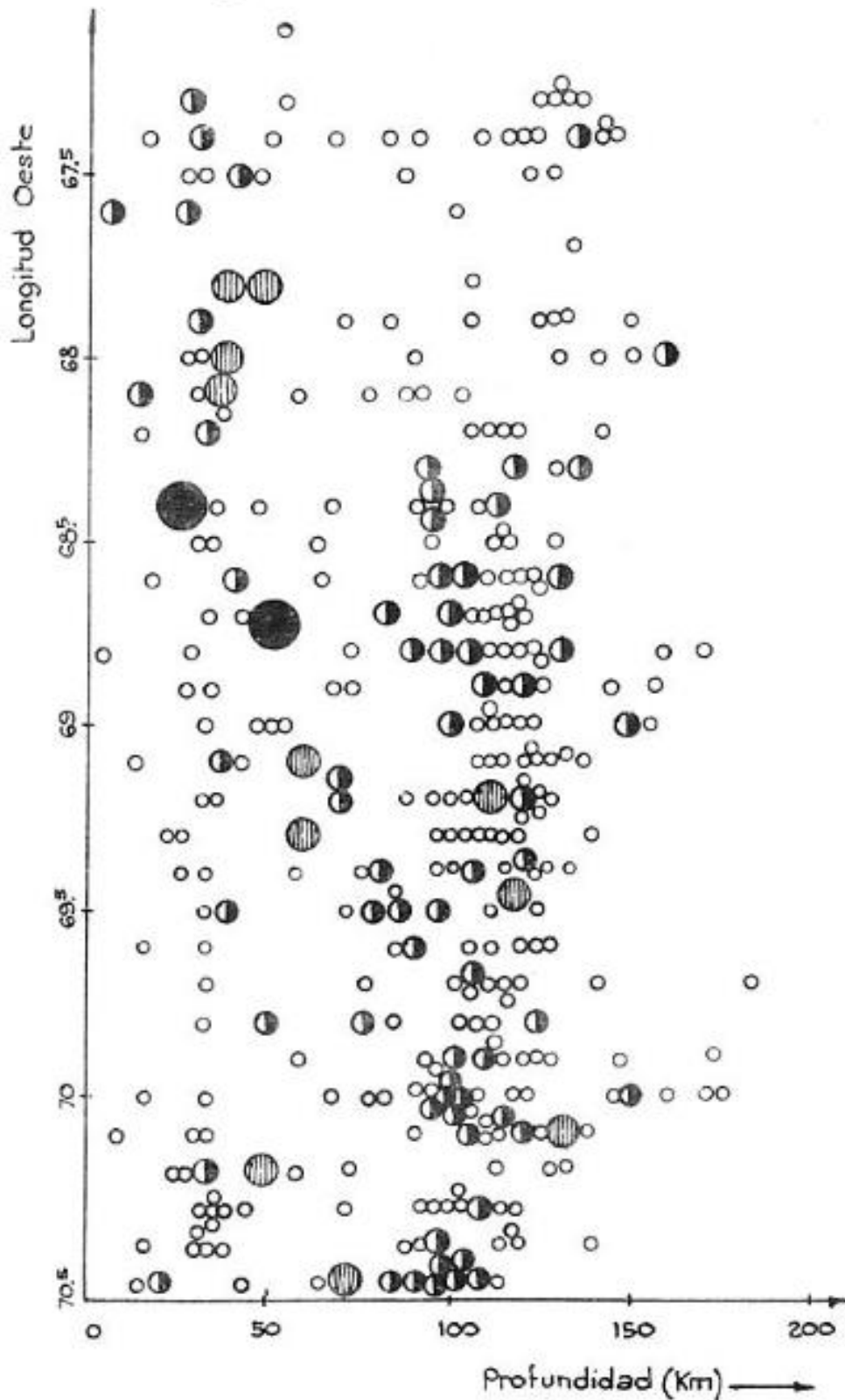
2.4 Distribución de Epicentros en Profundidad:

Las curvas de energía liberada de la figura 2 que surgen de evaluar convenientemente la distribución geográfica de los epicentros y sus magnitudes no dan una idea exacta de la actividad sísmica en superficie porque no incluyen en ellas un tercer parámetro que es la profundidad de foco de cada sismo, factor este de suma importancia, ya que está en relación directa con la cantidad de energía absorbida y disipada por el medio en el cual se propaga la perturbación. En la figura 4 se presenta una proyección de los hipocentros ubicados dentro de la Región Circundante, sobre un plano vertical que pasa por el paralelo 31° Sur. Observando dicha figura se desprende que existen dos volúmenes a distintas profundidades donde se concentra la actividad sísmica para esta región; el primero se extiende entre profundidades muy superficiales y 70 kilómetros teniendo la mayor concentración de epicentros alrededor de los 40 kilómetros; el segundo va desde los 70 hasta los 150 kilómetros, con una mayor acumulación alrededor de los 110 kilómetros. Esto indicaría una zona de actividad en la corteza y otra en el manto superior.

DISTRIBUCION DE SISMOS EN PROFUNDIDAD
EN LA ZONA CIRCUNDANTE AL AREA DE EMPLAZA-
MIENTO.-



Fig. 4



3 - ANTECEDENTES SISMICOS DE LA REGION CIRCUNDANTE A LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO EL "TAMBOLAR LOS CARACOLES":

3.1 Historia Sísmica de la Región:

La historia Sísmica de esta región nos indica que en la misma han ocurrido fuertes terremotos, cuyos niveles de destructividad han sido mayores o menores de acuerdo a los parámetros propios de cada evento y a la proximidad o no de centros poblados. El primero de ellos, llamado el terremoto de Santa Rita, se produjo el 22 de mayo de 1782 ocasionando daños en la ciudad de Mendoza. Desde entonces, hasta el último sismo de San Juan del 10 de junio de 1952, han ocurrido numerosos terremotos, siendo los más importantes, teniendo en cuenta sus características destructivas, los que se presentan en la Tabla 1. Los parámetros fundamentales de algunos de ellos se han determinado a partir de los antecedentes históricos que se poseen, y de la comparación de los mismos con los efectos producidos por terremotos más recientes ocurridos en la región y evaluados instrumentalmente. En la figura 5 se presenta la ubicación geográfica de estos terremotos.

Del análisis detallado de cada uno de ellos, especialmente de los efectos producidos en las construcciones del área abarcada por la perturbación, se desprende que los dos terremotos que liberaron mayor cantidad de energía, y por ende los de mayor magnitud, fueron el terremoto de San Juan -

T A B L A 1

TERREMOTOS DESTRUCTIVOS OCURRIDOS EN LA REGION CIRCUNDANTE
A LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO
"EL TAMBOLAR - LOS CARACOLES"

| FECHA | LAT. | LONG. | MAGN. | PROF. | INTENSIDAD (M.M.) |
|------------|------|-------|-------|-------|------------------------------------|
| 22-5-1782 | 32.5 | 69.2 | 7.0 | 50 | VIII Ciudad de Mendoza |
| 20-3-1861 | 32.8 | 69.0 | 7.4 | 50 | X Ciudad de Mendoza |
| 27-10-1894 | 30.5 | 68.3 | 8.0 | 80 | IX Albardón, Las Flores (San Juan) |
| 12-8-1903 | 32.2 | 69.1 | 6.8 | 50 | VII Ciudad de Mendoza |
| 26-7-1917 | 33.0 | 69.5 | 6.5 | 50 | VII Ciudad de Mendoza |
| 17-12-1920 | 32.7 | 68.6 | 6.5 | 30 | IX El Central (Mendoza) |
| 14-4-1927 | 32.7 | 69.8 | 7.0 | 70 | VII Ciudad de Mendoza |
| 3-7-1941 | 31.8 | 67.8 | 6.3 | 40 | VII Caucete (San Juan) |
| 15-1-1944 | 31.4 | 68.4 | 7.8 | 30 | IX Ciudad de San Juan |
| 10-6-1952 | 31.7 | 68.7 | 7.0 | 50 | VIII Ciudad de San Juan |

-La Rioja del 27 de octubre de 1894 y el de San Juan del 15 de enero de 1944. Del estudio individual de estos dos grandes terremotos surge inmediatamente que el área de destrucción (Intensidad M.M. \geq VII) abarcada por el primero es considerablemente mayor que la del sismo de 1944, lo que equivaldría, a igualdad de los restantes parámetros, a una mayor magnitud. Teniendo en cuenta que el terremoto de San Juan de 1944 liberó energía equivalente a una magnitud de 7,8 en la escala de

Richter, las consideraciones previas nos permiten suponer que la magnitud del sismo del 27 de octubre de 1894 fue de 8 o mayor, lo que lo convierte en el terremoto de mayor magnitud de la historia sísmica argentina. Este sismo, que fue percibido prácticamente en toda la Argentina y todo Chile, y produjo daños desde San Juan a Córdoba y desde La Rioja a Mendoza, tuvo su probable epicentro en una zona muy poco poblada del nor-este de San Juan, lo que hace difícil evaluar el grado de destructividad en la región epicentral. Por tal motivo, y dado que el nivel de magnitud del terremoto de 1944 es muy cercano al de 1894, se decidió estudiar en detalle las consecuencias del primero de ellos.

3.2 El Terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944:

El día 15 de enero de 1944, a las 20 horas 49 minutos y 27 segundos se produjo un violento terremoto que destruyó casi totalmente la ciudad de San Juan y localidades vecinas desde Caucete hasta Ullúm y desde Villa Krause hasta Albardón, dejando como trágico saldo alrededor de 10.000 muertos, muchos miles de heridos y un perjuicio económico y moral para la Provincia de San Juan cuya reparación llevó muchos años, lográndose finalmente con la ayuda generosa de todos los argentinos.

A los efectos de estudiar detalladamente este evento y poder determinar las principales características del mismo, se consultó a toda fuente que pudiera aportar datos sobre el terremoto, especialmente a testigos presenciales y a los principales diarios de ese entonces.

De toda la información recopilada surge que, dentro de la destrucción general, el área más afectada por el fenómeno sísmico fue el Barrio de Concepción, en la zona norte de la Ciudad de San Juan, donde los daños fueron prácticamente totales y no quedó ninguna casa en pie. Vale la pena recordar que esta zona, llamada Pueblo Viejo, fue el lugar donde Juan Jufré fundara la antigua ciudad de San Juan de la Frontera, lo cual induce a pensar que allí estaban las construcciones más antiguas y más fácilmente sujetas a este tipo de fenómeno natural. Es por ello que esta área se incluyó dentro de la curva de Intensidad IX en la escala de Mercalli Modificada (isosista), como puede observarse en el mapa de la figura 6. Dicha isosista encierra la ciudad de San Juan Albardón y Alto de Sierra, localidades que sufrieron destrucción casi total, colapsando a su vez el caso de la ciudad capital un 80% de la edificación, destruyéndose prácticamente toda la edificación de adobe y casi toda la mampostería de ladrillos quedando solamente en pie edificios más resistentes como el caso del Hospital Rawson que a pesar de todo, tuvo que ser desalojado por los daños que presentaba.

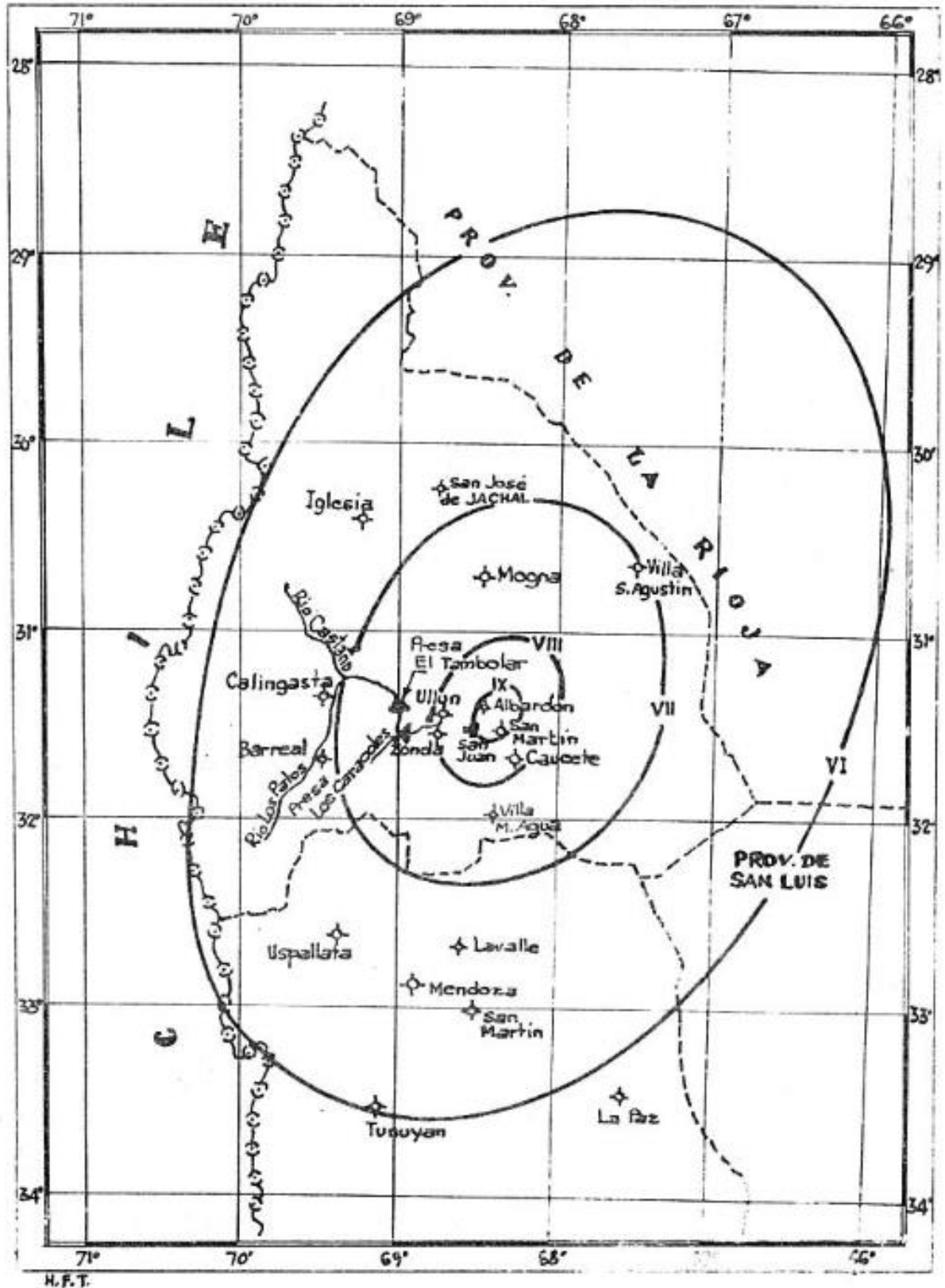
La isosista VIII encierra las localidades de Caucete Villa Krause y Ullóm, donde los daños fueron considerables pero no de la cuantía de los enumerados precedentemente, como se desprende inmediatamente de los informes de los correspondientes que recorrieron las zonas afectadas en los días siguientes al sismo.

En las localidades de Media Agua y Jáchai el terreno

TERREMOTO DE SAN JUAN DEL DIA 15 DE ENERO DE 1944.-

CURVAS ISOSISTAS

Fig. 6



moto alcanzó intensidad VII ya que los daños que produjo fueron escasos, mientras que en las ciudades de Mendoza y La Rioja la intensidad se redujo al grado VI, llegando a sentirse en Córdoba con grado IV a V y en Buenos Aires con grado II a III. La magnitud de este terremoto fue de 7,8 en la escala de Richter, lo que equivale a una liberación de energía del orden de 10^{23} ergs.

Las características destructivas de este terremoto, consecuencia de esa extraordinaria cantidad de energía liberada y de que dicha liberación fue bastante superficial, se pueden apreciar más cuantitativamente observando en la figura 6 que el área donde se produjeron daños, área encerrada por la curva isosista VII, es de aproximadamente 40.000 kilómetros cuadrados.

El epicentro de este sismo fue ubicado por el Observatorio Astronómico de la Universidad de La Plata a 1000 kilómetros del mismo, en dirección noroeste, y por el Observatorio Central de Buenos Aires a 950 kilómetros también en dirección noroeste. Estos valores corresponden a un punto ubicado al este de la ciudad de San Juan.

Por otra parte, de los relatos de quienes vivieron el terremoto de esta ciudad, se desprende que el epicentro fue muy cercano a ella, ya que la mayoría de las personas que se encontraban en el interior de sus viviendas no alcanzaron a llegar a las calles o patios antes de que ocurriera el derrumbe total, producido, según esos relatos, por "una nueva vibración más violenta que la primera" y que correspondía seguramente a la llegada de las ondas transversales. Podemos

estimar entre un mínimo de cinco y un máximo de diez segundos al tiempo transcurrido entre el inicio del movimiento, coincidente con la llegada de las ondas longitudinales, y el momento del colapso general, coincidente con la llegada de las ondas transversales. Esto nos permite estimar la ubicación del hipocentro a una distancia mínima de la ciudad de San Juan de 25 kilómetros y a una máxima de 75 kilómetros.

Además debemos agregar que el Dr. Horacio Harrington quién recorrió la zona afectada pocos días después del sismo, localizó una falla inversa cuyo plano se inclinaba 42 grados hacia el este y cuya traza superficial pasaba por las proximidades de las localidades de Las Lomitas, La Laja y El Salado, con rumbo general nor-este-suroeste y con un desplazamiento vertical máximo de 22 centímetros y uno horizontal de 25 centímetros, habiéndose elevado la parte este de la fractura con respecto a la situada al oeste. Es lógico suponer que dicha falla se originó o se activó como consecuencia del terremoto y por sus características, el epicentro debe haber estado ubicado al este de la traza de la misma.

De todas estas consideraciones estimamos el epicentro en el punto 31.4° sur y 68.4° oeste, a 25 kilómetros de la ciudad de San Juan y una profundidad de foco de 30 kilómetros, lo que representa una diferencia de llegada entre ondas P y S del orden de 8 segundos.

Con respecto a la duración de la fase intensa del terremoto, la estimamos, de acuerdo al relato de testigos, entre unos 15 y 20 segundos, habiéndose alcanzado una aceleración máxima estimada en aproximadamente 0,40 g consideran-

do dicha duración y los daños producidos.

4. DISTRIBUCION DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE SISMOS EN FUNCION DE LA MAGNITUD:

Una forma conveniente de expresar la sismicidad de una región, referida a la probable ocurrencia en la misma de una magnitud determinada, es por medio de la relación empírica:

$$\text{Log } N (M) = a - bM \quad (1)$$

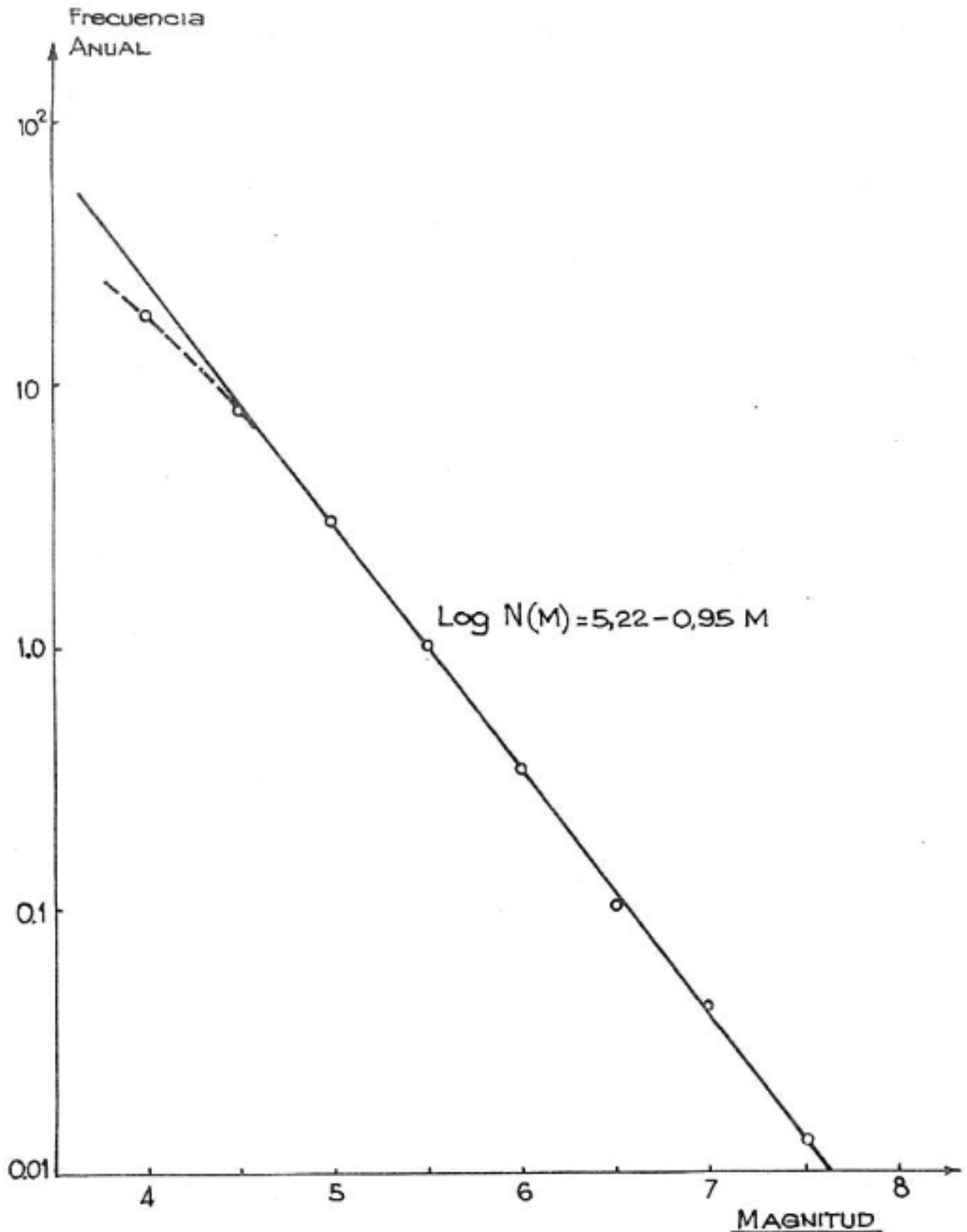
En la que $N (M)$ es el número de terremotos por unidad de tiempo cuyas magnitudes superan a M , mientras que a y b son constantes que dependen de las características sísmicas de la zona en estudio.

En nuestro caso particular se aplicó la relación (1) para los sismos ocurridos en la Región Circundante a la Zona de Emplazamiento en el período 1920-1973, incluyéndose para las magnitudes mayores los sismos históricos y tomándose como unidad de tiempo un año. Se hizo el correspondiente ajuste por mínimos cuadrados desechándose las frecuencias anuales correspondientes a las magnitudes menores de 5, por considerarse que dichas frecuencias están por debajo de lo normal debido a la deficiente distribución de las redes de estaciones sismológicas que hacen que no se registren muchos de los sismos menores.

Como resultado se obtuvo la curva que se muestra en la figura 7, encontrándose los siguientes valores de las constantes a y b de la relación (1):

DISTRIBUCION DE LA FRECUENCIA ANUAL DE OCURRENCIA DE SISMOS EN FUNCION DE LA MAGNITUD PARA LA ZONA CIRCUNDANTE AL EMPLAZAMIENTO

Fig. 7



$$a = 5,22$$

$$b = 0,95$$

Dichos valores se encuadran dentro de los normales para la mayor cantidad de áreas sísmicas del mundo. Isacks y Oliver recopilaron cuarenta y cinco trabajos en los cuales b había sido determinado encontrando que en el 73% de los casos el factor b variaba entre 0,80 y 1,20.

5 - PROBABLE ACTIVIDAD SISMICA FUTURA:

5-1 Índice de Sismicidad y Período Medio de Recurrencia:

Una vez determinados a y b mediante el procedimiento descrito precedentemente, podemos obtener el Promedio Anual Esperado de Sismos que superarán una cierta magnitud M. Este promedio nos da una idea de cual será la probable actividad sísmica futura de la región en estudio, y se denomina "Índice de Sismicidad", el cual queda expresado como:

$$N_1 (M) = 10^{a-bM}$$

La inversa de este valor nos permite obtener el "Período medio de Recurrencia" de un sismo de una magnitud dada en un punto cualquiera de la región:

$$T (M) = \frac{1}{N_1 (M)} = \frac{10^{bM}}{10^a}$$

Calculando los valores de T (M) para distintas magnitudes se obtienen los resultados que se presentan en la Ta

bla 2.

T A B L A 2

PERIODOS MEDIOS DE RECURRENCIA DE SISMOS EN LA ZONA

CIRCUNDANTE AL COMPLEJO HIDROELECTRICO

"EL TAMBOLAR - LOS CARACOLES"

| Magnitud Sismo | Período de Recurrencia | | OBSERVACIONES |
|----------------|------------------------|------|--------------------------------|
| | Años | días | |
| 3,0 | - | 1,5 | |
| 4,0 | - | 14 | |
| 5,0 | - | 124 | |
| 5,7 | 1,5 | - | Sismo Mendoza 24/4/67 |
| 6,0 | 3 | - | |
| 6,5 | 9 | - | Sismo Costa Araujo 17/12/20 |
| 7,0 | 26 | - | Sismo San Juan 10/6/52 |
| 7,2 | 42 | - | Sismo Mendoza 20/3/1861 |
| 7,8 | 150 | - | Sismo San Juan 15/1/44 |
| 8,0 | 240 | - | Sismo San Juan 27/10/1894 |

Observando la misma se desprende que el período medio de recurrencia de un sismo con las características del que destruyó San Juan en 1944 es de 150 años, mientras que el de un sismo como el que destruyó Mendoza en 1861 es de 42 años y además, que ocurre en promedio, un sismo de magnitud 3

cada día y medio, todo ésto en cualquier punto de la Región Circundante a la Zona de Emplazamiento del Complejo Hidroelétrico "El Tambolar - Los Caracoles".

5-2 Probabilidad de Ocurrencia de una cierta magnitud:

A partir de los resultados obtenidos por Epstein y Lomnitz (1966) aplicando la teoría generalizada de los valores extremos de Gumbel, se pueden obtener una serie de resultados referidos a la esperada actividad sísmica futura en término de los factores a y b previamente determinados.

La magnitud máxima más probable en un intervalo fijado de tiempo, T, estará dada por:

$$M(T) = \frac{a + \log T}{b}$$

Calculando el valor de M (T) para distintos períodos de tiempo, T, se obtiene la curva de magnitud máxima más probable en función del intervalo de tiempo, la que se muestra en la figura 8.

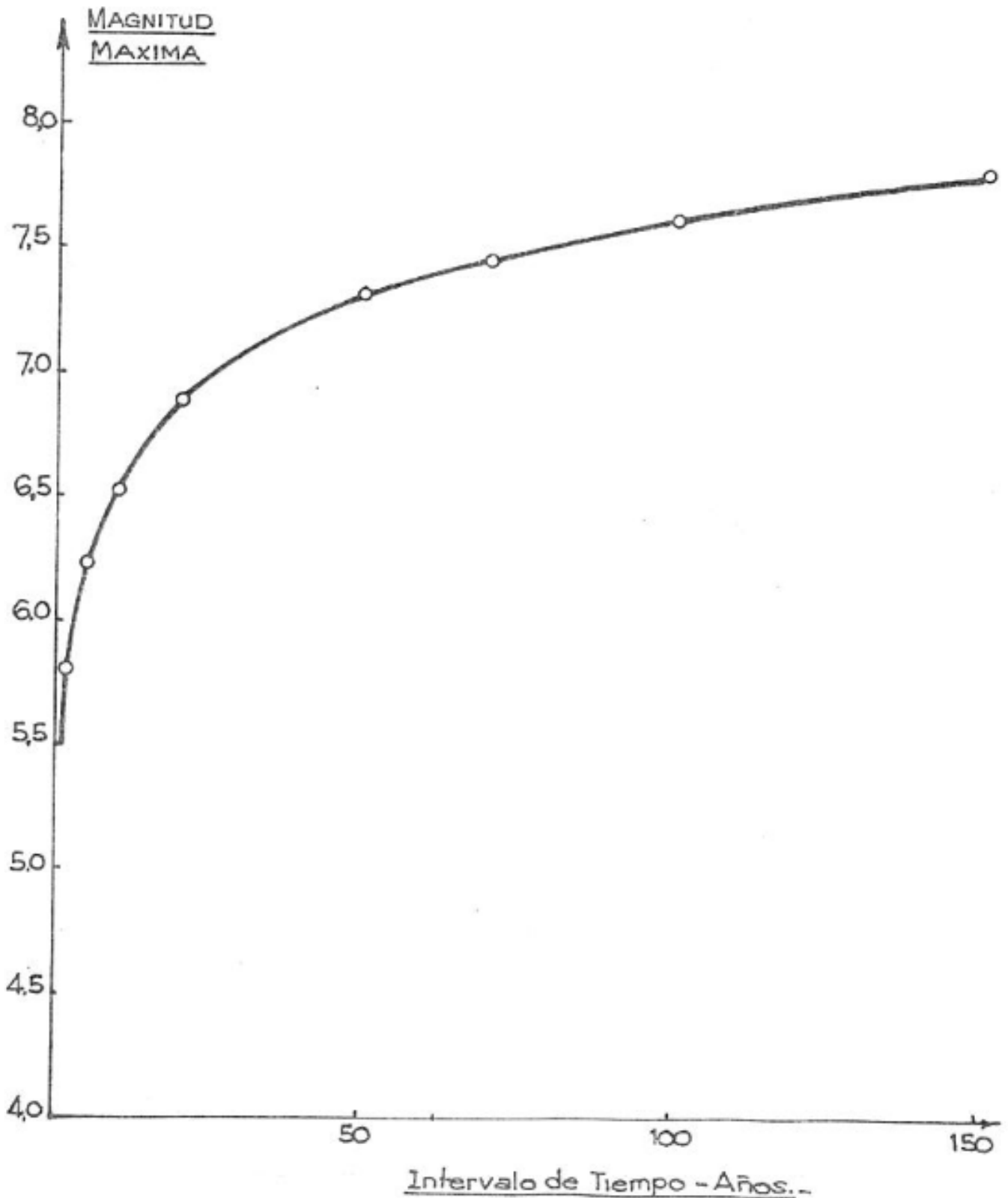
Por otra parte la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud mayor que M en un determinado intervalo de tiempo, T, está dada por:

$$P(M,T) = 1 - \text{Exp}\left\{-10^a T \cdot \text{Exp}(-bM \ln 10)\right\}$$

Utilizando esta fórmula y los valores determinados de a y b, se calcularon las curvas de Probabilidad de Ocurrencia de una cierta magnitud para períodos de 10, 50 y 100 años obteniéndose el gráfico de la figura 9. En él observamos que para una magnitud máxima cualquiera, se obtienen los porcenta

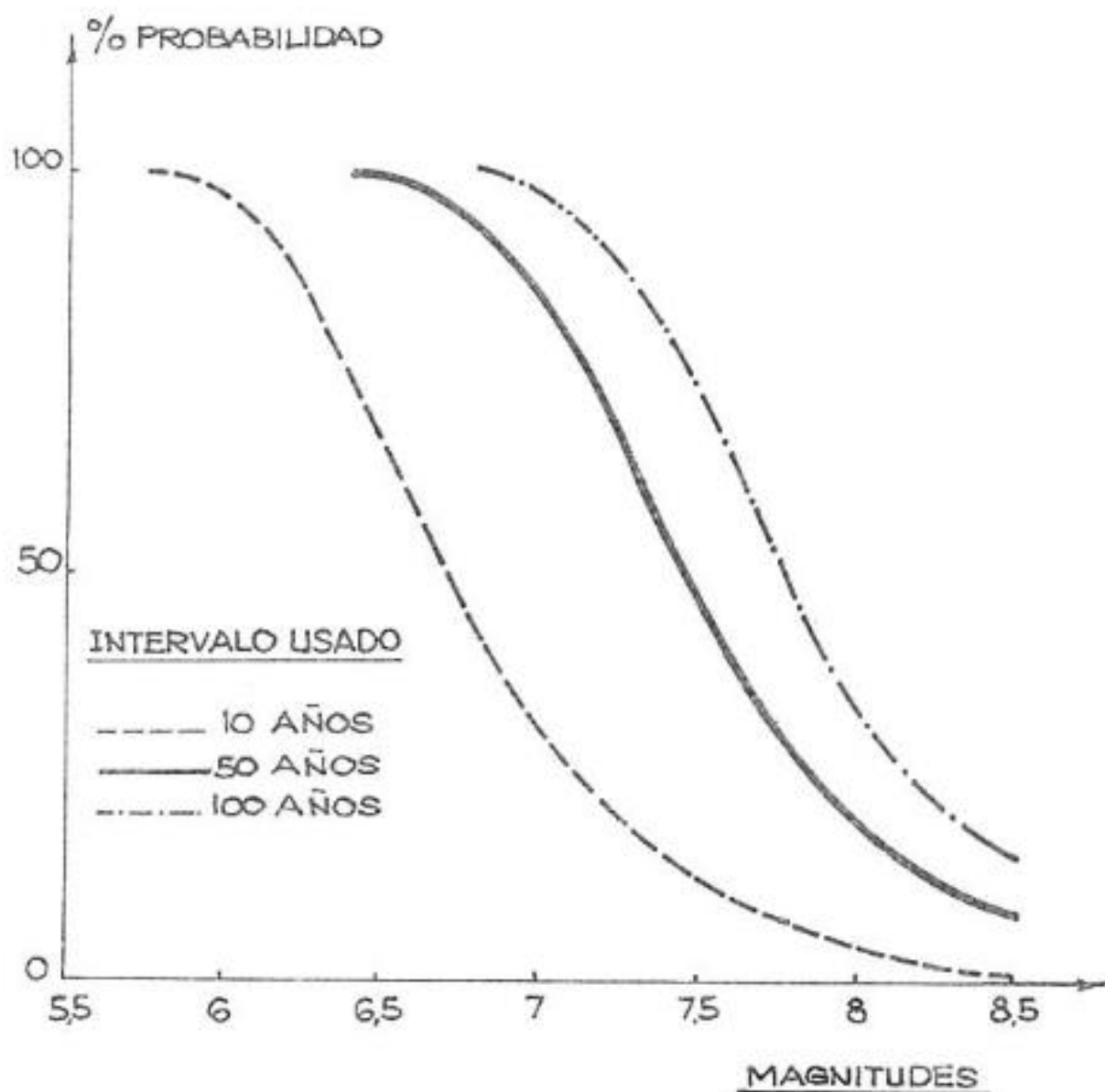
MAGNITUD MAXIMA MAS PROBABLE PARA UN
DETERMINADO INTERVALO DE TIEMPO EN LA ZONA
CIRCUNDANTE AL AREA DE EMPLAZAMIENTO

Fig. 8



CURVAS DE PROBALIDAD DE OCURRENCIA DE
UNA CIERTA MAGNITUD EN DIFERENTES INTERVALOS
DE TIEMPO, ZONA CIRCUNDANTE AL AREA DE EMPLAZAMIENTO

Fig. 9



jes de Probabilidad de Ocurrencia de dicha magnitud para los intervalos usados. Así, por ejemplo, si la magnitud máxima es de 7,5; los porcentos de probabilidad que se obtienen son 12,46 y 70% para los respectivos intervalos de 10,50 y 100 años.

6 - CONCLUSIONES:

De todo lo expuesto precedentemente surge:

1) La Región Circundante a la Zona de Emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico "El Tambolar - Los Caracoles!" se caracteriza por un elevado nivel medio de sismicidad.

2) Los antecedentes sísmicos de la región nos indican que en la misma se produjeron no menos de 10 terremotos destructivos, desde 1782 hasta la fecha, y que en algunos casos el alto grado de destructividad y la gran extensión del área dañada correspondieron a movimientos sísmicos de magnitud muy próxima a la de los terremotos más fuertes de las regiones sísmicas más activas del globo.

3) Los probables períodos de recurrencia nos muestran que sismos con magnitudes que en ciertos casos pueden ser catastróficas, se repiten con frecuencia elevada comparado con la vida útil de una obra de esta naturaleza. Así por ejemplo un terremoto de magnitud 7, similar al de San Juan de 1952, está supuesto a suceder una vez cada 26 años, lo que significa que tendremos 4 de estos eventos en la región circundante, en un periodo de 100 años.

4) Los puntos 2) y 3) nos muestran que el área de emplazamiento del Cómplejo Hidroeléctrico proyectado, es una zona con alto nivel de peligrosidad sísmica, y por consiguientemente será de incalculable valor para el proyecto final tener en cuenta muy especialmente los valores de Riesgo Sísmico que se obtengan en la próxima etapa de este estudio.

RECONOCIMIENTO:

Este trabajo fue realizado con la colaboración técnica del señor MIGUEL A. ARTURO, del Area Ingeniería Antisísmica del INPRES, quién tuvo a su cargo la recopilación y clasificación de toda la información histórica; y del Técnico señor JOSE ROBERTO MUNIZAGA, del Area de Sismología, quién realizó tareas de apoyo en el procesamiento de los datos instrumentales. Los dibujos fueron ejecutados por el señor HUGO F. TERAGNI y el trabajo de dactilografía estuvo a cargo de la señora CARMEN LOBOS DE DIAZ y de la señorita ANA MARIA DE SENSI.

SAN JUAN, 31 de octubre de 1974.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Anglin, F.M. - "Detection Capabilities of the Yellowknife Seismic Array and Regional Seismicity" B.S.S.A., Vol. 61, N° 4, agosto 1971
- 2 - Bollinger, G.A. "Seismicity of Southeastern United States" B.S.S.A., Vol. 63, N° 5, octubre 1973.
- 3 - Carmona, J.S. y Castano J. C. "Medio Siglo de Actividad Sísmica en Sudamerica al Sur de los 18 Grados". Primeras Jornadas Latinoamericanas de Computación. Buenos Aires-noviembre, 1971.
- 4 - Castano, J.C. "Actividad Sísmica en la República Argentina y en el Cono Sur de Sudamerica" Resúmenes de las Comunicaciones de la Quinta Reunión de la A.A.G.G. - Geoacta N° 5, Córdoba 1969.
- 5 - Curtis, J.W. "A Magnitude Domain Study of the Seismicity of Papua, New Guinea, And the Solomon Islands" B.S.S.A., Vol. 63, N° 3 junio/73.
- 6 - Epstein, B. and Lomnitz, C. "A Model for the Occurrence of Large Earthquakes" - Nature, N° 211, 1966.

- 7 - Diario "La Nación". Buenos Aires, 16 de enero al 15 de febrero de 1944.
- 8 - Diario "La Prensa". Buenos Aires, 16 de enero al 15 de febrero de 1944.
- 9 - Diario "Los Andes". Mendoza, 16 de enero al 15 de febrero de 1944.
- 10- Furumoto, A.S. "Seismicity of Hawaii" - B.S.S.A. Vol. 56, N°1, febrero 1966.
- 11- Gibbs, J.F. et al - "Seismicity in the Rangely Colorado Area: 1962 - 1970" B.S.S.A. Vol. 63, N° 5, octubre 1973.
- 12- Harrington, H.J. "Volcanes y Terremotos" Editorial Pleamar - Buenos Aires 1944.
- 13- Nowroozi, A.A. - "Seismicity of the Mendocino Escarpment and the Aftershock Sequence of June 26, 1968" - B.S.S.A. Vol. 63-N° 2, abril 1973.
- 14- Richter, C.F. - "Elementary Seismology" W.H. Freeman and Company, U.S.A. - 1958.
- 15- Volponi, F. - "Aspectos Sismológicos del Territorio Argentino". Primeras Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica-San Juan-Mendoza.1962.

En toda reproducción total o parcial del contenido de esta Publicación, deberá citarse su procedencia y enviar copia al INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA.

Se dio término a la 3ra. Edición de esta obra en el mes de junio de 1978 en los talleres de impresión del INPRES.

