

RIESGO SISMICO DE TACNA

POR:

JORGE E. ALVA HURTADO, PhD

PROFESOR PRINCIPAL
SUB-DIRECTOR DE INVESTIGACION CISMID
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INFORME PRESENTADO AL:

CONCYTEC

Lima, Febrero de 1988

1.0 INTRODUCCION

El presente informe documenta los resultados de la revisión y el análisis de la sismicidad histórica, sismicidad instrumental y neotectónica existentes en el departamento de Tacna, al sur del Perú.

En la evaluación del riesgo sísmico de Tacna se han efectuado los siguientes pasos: a) Determinar la sismicidad regional, b) Identificar las características sismotectónicas, c) Estimar la atenuación de los efectos sísmicos regionales y d) Estimar la distribución de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del suelo.

La evaluación del riesgo sísmico se ha efectuado por medio de métodos probabilísticos, para finalmente proponer niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el Departamento de Tacna. Debe dejarse bien establecido que el nivel del estudio es preliminar, por lo que en un futuro deberán ahondarse los estudios de geología sísmica, especialmente los relativos a las fallas activas existentes.

2.0 HISTORIA SISMICA DEL AREA DE INFLUENCIA

La fuente básica de datos de intensidades sísmicas es el trabajo de Silgado (1978), que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú. Un mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú ha sido presentado por Alva Hurtado et al. (1984) ilustrándose en el Mapa No. 1 la parte de aquél relevante al departamento de Tacna y zonas aledañas. La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes.

En el Anexo I se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el area de influencia del Proyecto. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado (1946-1983) y en el Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur. Del análisis de

la información existente se deduce que para el área de influencia existe poca información histórica. En los siglos XVI a XIX se reportan los sismos sentidos en las principales ciudades existentes, indicando que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

Los sismos que afectaron la región y cuya historia se conoce son: el sismo del 22 de enero de 1582 con intensidades de X MM en Socabaya y IX en Arequipa; el sismo del 19 de febrero de 1600 con intensidad de XI en el area del volcán Huaynaputina y el del 28 de febrero del mismo año con intensidad de X en Omate; el sismo del 24 de noviembre de 1604 con intensidad de VIII en Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua; el sismo del 18 de setiembre de 1833 con intensidad VII en Tacna; el sismo del 13 de Agosto de 1868 con intensidad XI en La Caldera, X en Arica y IX en Arequipa, Tacna e Ilo; el sismo del 9 de Mayo de 1877 con intensidad VII en Arica, Mollendo e Ilo; el sismo del 23 de enero de 1878 con intensidad de VII en Tarapacá; el sismo del 4 de mayo de 1906 con intensidad de VII en Tacna y VI en Arica; el sismo del 16 de junio de 1908 con intensidad VII en Tacna y Arica; el sismo del 4 de diciembre de 1934 con intensidad VI en Tacna y Arica; el sismo del 11 de mayo de 1948 con intensidad de VI en Arequipa y Tacna; el sismo del 3 de Octubre de 1951 con intensidad VII en Tacna; el sismo del 15 de enero de 1958 con intensidad VIII en Arequipa; el sismo del 13 de enero de 1960 con VIII en Arequipa; el sismo del 16 de febrero de 1979 con VII en Camaná y Corire, y el sismo del 8 de agosto de 1987 con intensidad VII en Arica.

De los sismos ocurridos en el area en estudio tienen mapa de isosistas los siguientes sismos: 12 de agosto de 1868, 9 de mayo de 1877, 15 de enero de 1958, 13 de enero de 1960 y 16 de febrero de 1979. Los mapas de isosistas disponibles se presentan en el Anexo II.

Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del departamento de Tacna, han ocurrido en los últimos 400 años intensidades de hasta IX en la escala Mercalli Modificada. Sin embargo, en areas vecinas, tal como Arica y Arequipa han ocurrido intensidades de hasta X.

3.0 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS SISMOS

La ubicación de epicentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que puede considerarse los siguientes períodos en la obtención de datos sismológicos:

- 1) Antes de 1900 : Datos históricos descriptivos de sismos destructores.
- 2) 1900-1963 : Datos instrumentales aproximados
- 3) 1963-1986 : Datos instrumentales precisos

El Mapa No. 2 presenta la distribución de epicentros en el área de influencia del departamento de Tacna, elaborado en base al catálogo sísmico de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos. Dicho mapa presenta los sismos ocurridos entre 1963 y 1984 con magnitudes en función de las ondas de cuerpo mb. Además, se ha dibujado las diferentes profundidades focales de sismos superficiales (0-70 km), sismos intermedios (71-300 km) y sismos profundos (301-700 km). El Mapa No. 3 presenta un perfil transversal perpendicular a la costa con un ancho de 100 km pasando por la ciudad de Tacna.

Los sismos en el área de influencia presentan el mismo patrón general de distribución espacial que el resto del territorio peruano, es decir, la mayor actividad sísmica se concentra en el mar, paralelo a la costa. Se aprecia la subducción de la Placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta. También se producen sismos en el continente que son superficiales e intermedios, y que estarían relacionados a posibles fallas existentes.

Los sismos de la zona de Benioff, tienen profundidades focales superiores a los 100 kms en el departamento de Tacna, mientras que los continentales tienen profundidades focales menores a 50 km y se ubican en la frontera con el departamento de Puno.

4.0 TECTONICA Y SISMOTECTONICA

4.1 TECTONISMO DE LOS ANDES PERUANOS

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en la tierra, formando parte del Cinturón Circumpacífico.

Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más saltante precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes. La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et. al. 1968). La idea básica de la Teoría de Tectónica de Placas es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 kms), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et. al. 1975).

El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas no se conoce, pero se dice que es debido a corrientes de convección o movimientos del manto plástico y caliente de la tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación de la tierra.

Los límites o bordes de las placas raramente coinciden con los márgenes continentales, pudiendo ser de tres tipos:

- 1) Según cordilleras axiales, donde las placas divergen una de la otra y en donde se genera un nuevo suelo oceánico.

- 2) Según fallas de transformación a lo largo de las cuales las placas se deslizan una respecto a la otra.
- 3) Según zonas de subducción, en donde las placas convergen y una de ellas se sumerge bajo el borde delantero de la suprayacente.

Se ha observado que la mayor parte de la actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de estas placas. El frotamiento mutuo de estas placas es lo que produce los terremotos, por lo que la localización de éstos delimitará los bordes de las mismas.

El margén continental de Sudamérica, donde la Placa Oceánica de Nazca está siendo subducida por debajo de la Placa Continental Sudamericana, es uno de los bordes de placa mayores en la tierra.

La Placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cms. por año y se encuentra con la Placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa Sudamericana del Pacífico. Por otro lado, la Placa de Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el este con una velocidad de aproximadamente 5 a 10 cms por año, subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 a 12 cms por año (Berrocal et. al., 1975).

Como resultado del encuentro de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la fosa Perú-Chile en diferentes etapas evolutivas. El continuo interaccionar de estas dos placas da origen a la mayor proporción de actividad sísmica de la región occidental de nuestro continente. La Placa Nazca se sumerge por debajo de la frontera Perú-Brasil y noroeste de Argentina. La distribución espacial de los hipocentros confirma la subducción de la Placa de Nazca, aún cuando existe controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 y 500 kms. de profundidad (Berrocal et. al., 1975).

Algunos trabajos de sismotectónica en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por "zonas de transición" sismotectónicas (Deza y Carbonell 1978), todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con ésta. Estas provincias tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son: (Berrocal et. al., 1975).

- La Fosa Oceánica Perú - Chile
- La Dorsal de Nazca
- La porción hundida de la costa al norte de la Península de Paracas, asociada con un zócalo continental más ancho.
- La cadena de los Andes
- Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobrescurrimientos.

La Dorsal de Nazca tiene una influencia decisiva en la constitución tectónica de la parte occidental, donde se nota un marcado cambio en la continuidad de los otros rasgos tectónicos. En la parte oceánica, la Dorsal de Nazca divide la Fosa Oceánica en la Fosa de Lima y la Fosa de Arica.

La Cadena Andina es el rasgo tectónico más evidente. Su orogénesis es un producto de la interacción de las placas litosféricas, cuyo desarrollo está todavía vigente.

La convergencia de la Placa de Nazca y la Sudamericana da como resultado una deformación dentro de la Litósfera continental.

El régimen de esfuerzo regional tectónico parece ser predominantemente compresional, normal a las líneas de la Costa y a la dirección de las Cordilleras. La parte occidental del área de estudio está constituida por varias unidades tectónicas de diferentes grados de deformabilidad, debido a su diferente litología y época de formación. La unidad de deformación Precambriana no presenta actividad sísmica, mientras que la unidad de deformación Paleozóica presenta actividad sísmica de profundidad superficial a intermedia, tal como en la zona de Huaytapallana cerca de Huancayo, en Cusco y en Abancay.

La deformación en la corteza se caracteriza por fallas inversas, de rumbo predominantemente Norte a Nor-Noroeste en los Andes, que buzan con bajo ángulo sea al Sur-Oeste o al Nor-Este.

El sistema de fallas subandino, localizado a lo largo del flanco Oriental de los Andes, representa la parte más oriental de esta deformación de la Corteza. El contacto de la unidad de deformación Supra-Terciaria con las unidades más antiguas está asociado con este sistema de fallas normales e inversas.

Otro rasgo importante en la unidad Andina lo constituye las deposiciones volcánicas que son antiguas hacia el norte de la zona de transición; y modernas y antiguas hacia el Sur (Deza y Carbonell, 1978).

4.2 SISMO TECTONICA REGIONAL

El Mapa No. 4 presenta el mapa Neotectónico de la Región. En este mapa se presentan los rasgos neotectónicos indicados por Sebrier et. al. (1982) para el Perú, así como los rasgos presentados para los países vecinos en el Proyecto SISRA.

En el departamento de Tacna existe la falla activa de Chulibaya. Esta falla se localiza entre Locumba y Curibaya, al límite del Piedemonte Pacífico y la Cordillera Occidental. La falla se sigue en una quebrada afluente de la margen izquierda del río Curibaya. Esta falla es normal, tiene una longitud de 5 kilómetros y un salto de 2

mts. en promedio, y muestra evidencias de una actividad sumamente reciente. Desafortunadamente esta falla todavía no está lo suficientemente estudiada como para poder modelarla en la evaluación del riesgo sísmico de Tacna.

En Calientes, al NE de Tacna existe la Flexura de Calientes, que tiene un rumbo de N125°E y una longitud de 15 kms. También existe al noreste de la falla activa de Chulibaya la falla de Incapuquio.

En el mapa de epicentros se aprecia que en la parte oceánica la actividad sísmica está constituida por sismos superficiales (< 70 km de profundidad) concentrados entre la fosa marina y la línea de la costa. Frente a la región de Tacna y Arica existe un vacío de sismos para el período en estudio. También existen sismos superficiales en la zona continental, aunque no son numerosos.

En la zona continental se presentan mayormente sismos de profundidad intermedia correspondientes a la zona de Benioff, aunque también existen sismos superficiales. Lamentablemente los sismos superficiales continentales todavía no han sido asociados a fallas activas. Se necesita una mayor instrumentación en esta región del Perú. Como consecuencia de lo anterior, todavía no puedan modelarse los sismos superficiales continentales.

5.0 ESTUDIO SISMICO PROBABILISTICO

5.1 INTRODUCCION

El riesgo sísmico puede evaluarse probabilísticamente con el método desarrollado por Cornell (1968). La primera parte consiste en una revisión de la actividad sísmica del pasado para determinar las fuentes sismogénicas considerando las características tectónicas de la región. Luego se determina la recurrencia de las zonas sismogénicas y con la atenuación sísmica se determinan los valores probables de intensidades sísmicas.

5.2 FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DEL RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la Teoría de las Probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia. Aplicando esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos: E_1, E_2, \dots, E_n , mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustiva; entonces, de acuerdo al teorema de la "probabilidad total" se tiene para la probabilidad de ocurrencia de A:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A/E_i) \cdot P(E_i)$$

donde $P(A/E_i)$ es la probabilidad condicional que A ocurra, dado que E_i ocurra.

La intensidad generalizada (I) de un sismo en el lugar fijado puede considerarse dependiente del tamaño del sismo (la magnitud o intensidad epicentral) y de la distancia al lugar de interés. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$ respectivamente; entonces el peligro sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada, será: $P(I \geq i)$ y está dada por:

$$P(I \geq i) = \iint P[I/(s,r)] f_S(s) f_R(r) ds dr$$

Esta es la expresión que resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968, para analizar el peligro sísmico.

La evaluación de esta integral es efectuada por el program de Cómputo RISK desarrollado por R. McGuire (1976) en el cálculo del peligro sísmico.

5.3 EVALUACION DE FUENTES SISMOGENICAS

Se han utilizado las fuentes sismogénicas establecidas en el trabajo de Zonificación Sísmica del Perú de Casaverde y Vargas (1980).

La Figura No. 1 presenta las fuentes sismogénicas aplicables al Proyecto, según Casaverde y Vargas. Se ha mantenido la misma nomenclatura de las zonas sismogénicas, utilizando sólo aquellas que tienen influencia en el área del Proyecto. El área de influencia está limitada por latitud 14.00° S y 22.00° S, longitud 67.00° O y 79.00° O.

La determinación de las fuentes sismogénicas se ha basado en el mapa de distribución de epicentros, así como las características tectónicas del área de influencia. Se han presentado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos como para modelar fallas como fuentes lineales.

La mayor parte de los sismos ocurridos en el área considerada es producto de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana. La placa Nazca penetra debajo de la Sudamericana a ángulos variables.

La Placa Nazca se profundiza a medida que avanza hacia el Continente, por lo que pueden distinguirse fuentes del litoral (F3, F4 y F26) y fuentes continentales (F5 y F27).

Las fuentes del litoral tienen profundidades focales superficiales, menores de 70 kms. Las fuentes continentales de la zona de subducción se caracterizan por tener profundidades focales medianas, mayores de 70 kms.

Las fuentes F6, F8 y F23 están asociadas a la sismicidad regional andina con profundidades focales superficiales, sin estar asociadas a fallas activas. La fuente F25 representa los sismos profundos en la zona de Benioff, la fuente F24 los sismos intermedios. La Tabla No. 1 presenta las coordenadas de las fuentes sismogénicas utilizadas.

5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RECURRENCIA

El catálogo instrumental de sismos comienza a principios de siglo para la zona en referencia. La información existente hasta el año 1963 es incompleta, ya que no se cuenta con valores de magnitud de ondas de cuerpo mb y profundidad focal. Se decidió utilizar la información a partir de 1963 para la realización del análisis estadístico de recurrencia.

La recurrencia de terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1958).

$$\text{Log } N = a - bM$$

donde:

N = número de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo.
a, b = parámetros que dependen de la región.

La expresión anterior también se puede escribir como:

$$N = \gamma_0 e^{-\beta M}$$

donde:

$\gamma_0 = 10^a$ es el número de sismos por unidad de tiempo con $M > 0$.

$$\beta = b \times \ln 10$$

En el caso de tener un nivel inferior de magnitud M_0 en lugar de magnitud igual a cero, las expresiones de recurrencia se convierten en:

$$\text{Log } N_{M_0} = a_{M_0} - b (M - M_0)$$

o

$$N_{M_0} = \delta_{M_0} e^{-\beta(M - M_0)} \text{ para } M \geq M_0$$

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas se han calculado utilizando los valores de magnitudes de ondas de cuerpo para luego convertirlos a valores de magnitud de ondas de superficie, mediante la expresión de Richter (1958).

$$m_b = 2.50 + 0.63 M_s$$

El valor de a_{M_0} es la tasa de actividad sísmica para el límite inferior de magnitud determinado a partir del catálogo y $b_{M_s} = 0.63 b_{m_b}$.

El análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se realizó considerando los datos de 1963-1981. La Tabla No. 2 presenta los parámetros de recurrencia utilizados para el caso de considerar las fuentes sismogénicas de la Figura No. 1 (Arévalo, 1984).

5.5 LEYES DE ATENUACION

Se ha utilizado la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por Casaverde y Vargas (1980). Esta ley está basada en los registros de acelerógrafos de las componentes horizontales de diez sismos peruanos registrados en Lima y alrededores.

Es notoria la menor atenuación de los sismos peruanos en comparación con atenuaciones de sismos en otras partes del mundo. Los sismos fueron registrados en acelerógrafos instalados en el local del Instituto Geológico en la Plaza Habich, el Instituto Geofísico en la Avenida Arequipa, en Zárate, en la casa del Dr. Huaco, en las Gardenias y en la Molina, la Ley es:

Atenuación de Aceleraciones:

$$a = 68.7 e^{0.8M_s} (R + 25)^{-1.0}$$

donde:

a = es la aceleración en cm/seg²

M_s = es la magnitud de las ondas superficiales

R = es la distancia hipocentral en kms.

Es evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú. Los datos que se tienen son de la ciudad de Lima.

También se utilizaron las leyes de atenuación de velocidades y desplazamientos que son:

Atenuación de Velocidades:

$$v = 13 e^{1.0M_s} (R + 25)^{-1.5}$$

Atenuación de Desplazamientos:

$$d = 0.41 e^{1.2M_s} (R + 25)^{-1.3}$$

donde:

v = es la velocidad en cm/seg.

d = es el desplazamiento en cm.

Debe advertirse que estudios anteriores (Alva Hurtado et. al. 1984) han demostrado que existe una notoria dispersión en los valores de desplazamiento en los sismos peruanos, producto del procesamiento utilizado en norteamérica para corregir los registros.

5.6 EVALUACION DEL RIESGO SISMICO

Se ha determinado el riesgo sísmico del Departamento de Tacna mediante la utilización de metodologías e información pertinentes, disponibles

bles en la literatura. Se ha utilizado el Programa de Cómputo RISK, desarrollado por McGuire (1976) con fuentes sismogénicas y leyes de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) y recurrencia sísmica de Arévalo (1984).

Las coordenadas geográficas investigadas fueron de 69.5° a 71.0° longitud Oeste y de 16.5° a 18.5° latitud Sur con intervalos de 0.25°, para cada punto en estudio se obtienen riesgos anuales de aceleración, velocidad y desplazamientos sísmicos, con tres corridas distintas, considerando las distintas leyes de atenuación sísmica.

Con el objeto de poder simplificar la información de salida, se han preparado mapas de distribución de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para períodos de retorno de 50 y 100 años en el departamento de Tacna.

Los valores presentados en los mapas son valores máximos en roca, por lo que debe considerarse la amplificación local de dichos valores en terreno blando. Con los valores presentados, y para un cierto período de retorno, pueden confeccionarse espectros de diseño para distintos emplazamientos de obras de ingeniería en el departamento de Tacna.

En los mapas presentados se aprecia que los mayores valores de intensidad sísmica se alcanzarían en la zona Sur del departamento, disminuyendo ligeramente hacia el Norte. Casi no existe diferencia en los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento sísmicos entre la costa y la sierra del departamento.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) El estudio de la sismicidad histórica en el departamento de Tacna indica que se han producido intensidades de hasta grado IX Mercalli Modificada. En Arica y Arequipa han ocurrido intensidades de hasta grado X.

- 2) La distribución espacial de los sismos instrumentales indica una mayor actividad sísmica de la zona de subducción en la costa. Hacia el continente, las profundidades focales de los sismos de la zona de Benjoff aumentan, llegando a ser superiores a 100 km en el departamento de Tacna. También existen sismos continentales superficiales, que se ubican en la frontera con el departamento de Puno.
- 3) La sismotectónica regional indica la existencia de la falla activa de Chulibaya y la flexura de Calientes. Lamentablemente con la información existente no se puede establecer una relación entre los sismos continentales superficiales y la falla activa, para modelar ésta con parámetros de recurrencia sísmica.
- 4) El riesgo sísmico del departamento de Tacna se ha calculado mediante una técnica probabilística de modelar las fuentes sismogénicas como áreas, sin poder modelar por carencia de datos las fallas activas de la región.
- 5) El estudio probabilístico proporciona valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento para un período de retorno dado, que pueden ser usados en la determinación del espectro sísmico de diseño de un sitio específico. Se ha presentado distribuciones de dichos valores para todo el departamento de Tacna.
- 6) Los valores máximos propuestos son para el afloramiento de roca, el coeficiente sísmico para el diseño deberá estar expresado en términos del período de la estructura, del suelo y del período de retorno a utilizarse también deberá considerarse la posibilidad de amplificación local en terreno blando.
- 7) Se recomienda llevar a cabo en el futuro estudios detallados de la falla activa existente en Tacna, en referencia a su posible generación de sismos y los demás rasgos neotectónicos de la región, para poder ser incorporados en la determinación del riesgo sísmico de Tacna.

- 8) Se recomienda aumentar el número de estaciones sísmicas en Tacna y dotarlas de instrumentación adecuada, para poder localizar con precisión los hipocentros de sismos futuros.

- 9) Se recomienda instalar por lo menos un acelerógrafo en el departamento de Tacna, con el objeto de determinar las características de la onda sísmica y su atenuación en la región.

TABLA No. 1

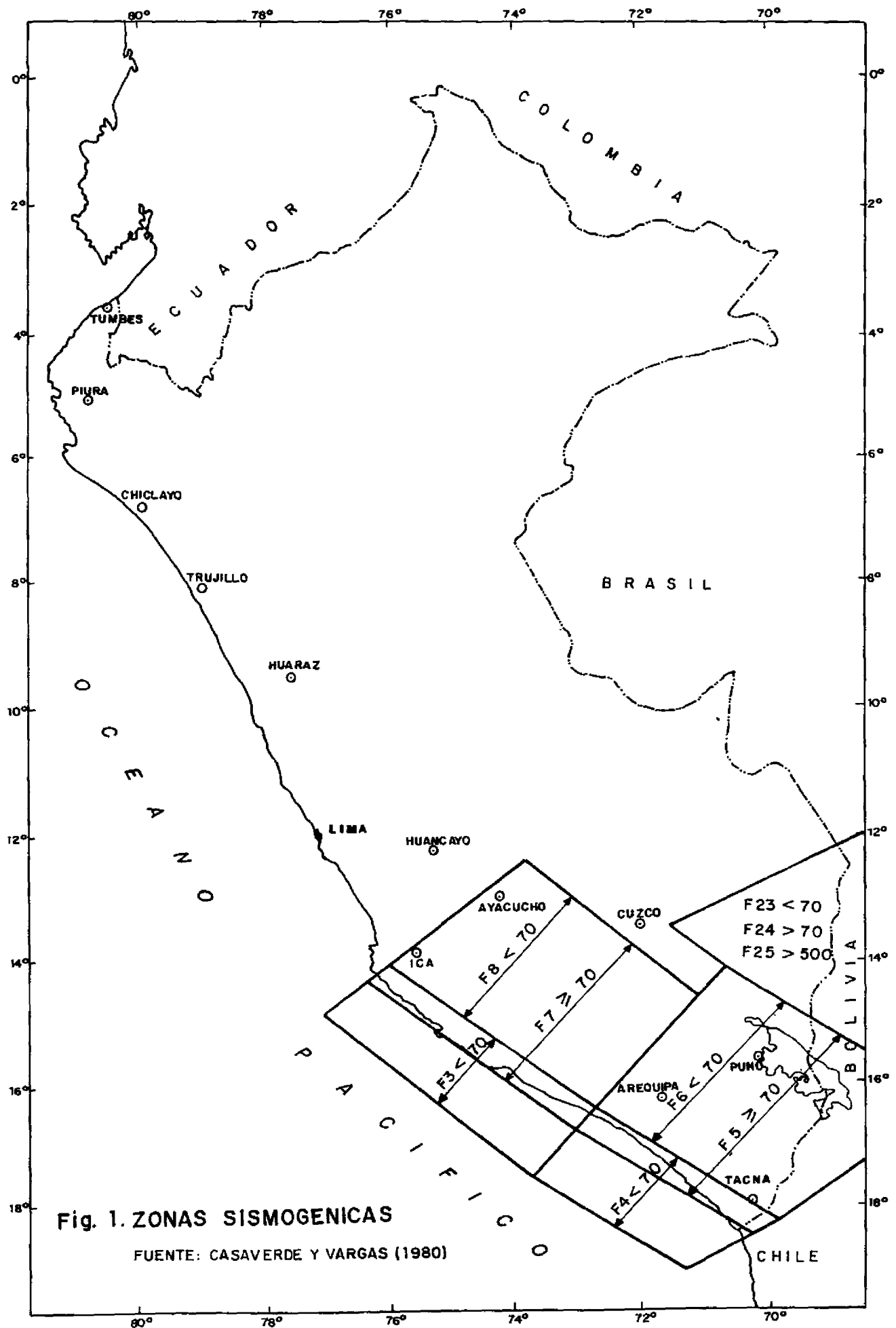
COORDENADAS DE LAS FUENTES SIMOGENICAS UTILIZADAS

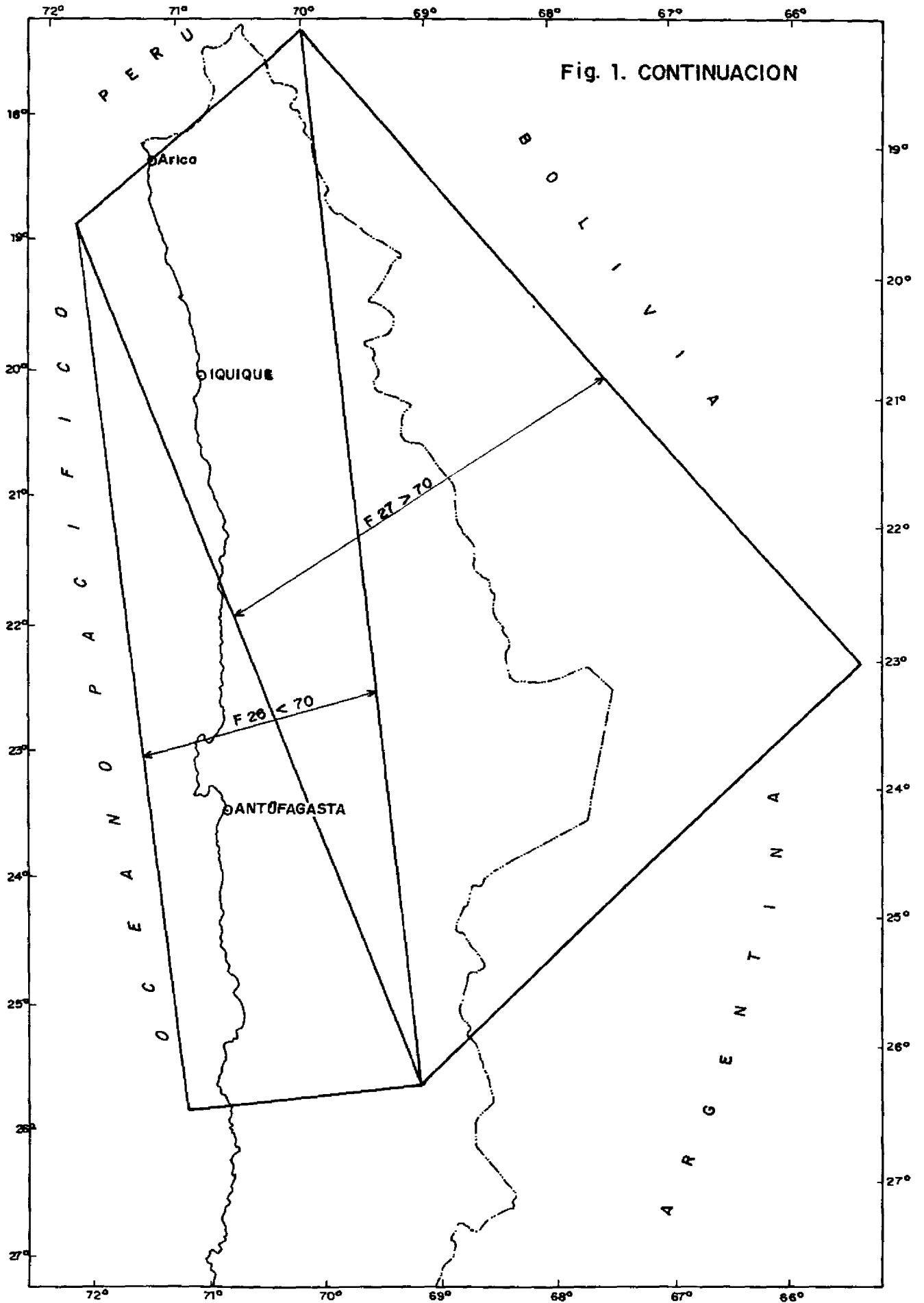
FUENTE	1		2		3		4	
	LONG.W°	LAT.S°	LONG.W	LAT.S	LONG.W	LAT.S	LONG.W	LAT.S
F3	77.10	14.90	76.00	14.08	73.70	17.50	72.70	16.40
F4	73.70	17.50	72.70	16.40	71.30	19.10	69.90	18.20
F5	73.00	16.75	70.60	14.10	70.25	18.45	67.20	16.35
F6	72.70	16.40	70.60	14.10	69.90	18.20	67.20	16.35
F7	76.30	14.30	73.80	12.45	73.00	16.75	71.00	14.60
F8	76.00	14.08	73.80	12.45	72.70	16.40	71.00	14.60
F23	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F24	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F25	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F26	71.00	18.92	69.00	17.60	71.00	26.00	69.00	26.00
F27	71.00	18.92	69.00	17.60	69.00	26.00	65.00	23.00

TABLA NO. 2

PARAMETROS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA RISK RIESGO SISMICO DE TACNA

FUENTE	MAGNITUD MINIMA M°	MAGNITUD MAXIMA MI	BETA	TASA	PROFUNDIDAD (km)
F3	5.0	8.10	2.4905	0.8073	35
F4	5.0	5.90	2.5479	0.3344	35,45
F5	5.0	7.50	1.9629	1.0079	130-190
F6	5.0	7.30	1.5341	0.1999	35,50
F7	5.0	7.00	2.2193	1.0574	90
F8	5.0	7.40	1.7654	0.1630	35
F23	5.0	7.10	1.1156	0.0654	35
F24	5.0	7.00	1.1156	0.0654	120
F25	5.0	7.50	1.1156	0.0654	540
F26	5.0	7.75	1.9187	2.5143	25-45
F27	5.0	8.30	2.2149	6.4584	100,180





REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Arévalo E., (1984), "Riesgo Sísmico del Departamento de Ancash" Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS Data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58 No. 5 págs. 1538-1606.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R. (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, No. 18, págs. 5855-5899.
- Kausel E. (1985) "Los terremotos de Agosto 1868 y Marzo 1877 que afectaron el Sur del Perú y Norte de Chile, Boletín Academia Chilena de Ciencias.

- McGuire R. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L. Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín No. 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú