

# INFORME SOBRE LOS EFECTOS DEL SISMO ACAECIDO EN LA PROVINCIA DE ACONCAGUA EL 28 DE MARZO DE 1965

POR

JUAN VARELA B. Y RAUL VICENCIO A.



Comunicaciones de la Escuela de Geología  
N.º 9

Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Escuela de Geología

**Santiago de Chile**

Diciembre de 1965

JUAN VARELA B. Y RAUL VICENCIO A.



**INFORME SOBRE LOS EFECTOS DEL SISMO ACAECIDO EN LA  
PROVINCIA DE ACONCAGUA EL 28 DE MARZO DE 1965**

Comunicaciones de la Escuela de Geología  
Nº 9

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
SANTIAGO DE CHILE, 1965**

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION . . . . .	1
<i>Relieve</i> . . . . .	2
<i>Clima y Vegetación</i> . . . . .	2
<i>Antecedentes geológicos</i> . . . . .	3
<i>Historia sísmica</i> . . . . .	4
<i>Daños en la edificación</i> . . . . .	5
a) Escala de daños y tipos de edificación . . . . .	5
b) Ciudades y pueblos . . . . .	5
c) Daños en caminos y puentes . . . . .	8
d) Daños en El Cobre . . . . .	10
Fig. N° 1 . . . . .	11
<i>Relación entre la geología y los daños</i> . . . . .	13
Consideraciones generales . . . . .	13
Fig. N° 2 . . . . .	13
a) Terrenos aluviales . . . . .	15
b) Terrazas fluviales . . . . .	16
c) Roca fresca y regolitos . . . . .	16
d) Suelos fangosos y esteros y vegas . . . . .	17
<i>Conclusiones</i> . . . . .	18
<i>Recomendaciones</i> . . . . .	19
APENDICE : Muestra de El Cobre . . . . .	21
REFERENCIAS CITADAS . . . . .	24
Lám. 1 . . . . .	Al final del texto
Lám. 2 a 13. . . . .	"
Mapa . . . . .	"

## INTRODUCCION

El día 28 de Marzo de 1965, a las 12:33 : 14,6 (hora local), un movimiento sísmico de magnitud 7,6 afectó parte de la zona central de Chile. El movimiento tuvo su mayor intensidad y duración (1 1/2-2 min) en las provincias de Aconcagua, Valparaíso y Santiago y su epicentro estuvo ubicado a 32° 33' Lat. S. y 71° 17' Long. W de Greenwich, en la comuna de La Ligua, departamento de Petorca, provincia de Aconcagua. La profundidad del hipocentro fue de unos 50 a 60 Km, que cae aquí en la parte más alta del manto superior.

El día 30 de Marzo, una comisión geológica de la Escuela de Geología se dirigió a la zona afectada por el sismo, con el objeto de investigar las relaciones entre la geología de la zona y los daños producidos, así como también estudiar los efectos superficiales y su posible relación con el mecanismo del movimiento sísmico. Esta comisión estuvo integrada por Enrique Tidy, Juan Varela y Raúl Vicencio, y visitó, en un recorrido general, la mayor parte de los pueblos situados en una franja limitada al sur por las ciudades de Quillota y Llay-Llay, y al Norte, por los pueblos de Quilimarí y Chicolco. Esta comisión estuvo en el terreno un total de 4 días, y al limitarse sólo a la región indicada, no visitó otros pueblos y ciudades en los cuales los daños a la edificación fueron considerables, pero que están alejados de la zona epicentral.

Posteriormente, durante los días 9, 10 y 11 de Abril, uno de los autores (R.V.) visitó nuevamente la zona, haciendo nuevas observaciones principalmente en la ribera N. del Río Aconcagua (Hijuelas y pueblos vecinos), en la Ligua, en la región inmediatamente vecina al epicentro (Engorda), y en algunos pueblos de la zona costera comprendida entre la boca del río de La Ligua y Maitencillo.

Las observaciones realizadas en el terreno fueron principalmente encaminadas a determinar la dirección del movimiento primario, a esclarecer las relaciones entre la geología areal y local y los efectos superficiales, y a encontrar evidencias de desplazamientos superficiales conectados directamente con el movimiento sísmico, en la medida en que dichos desplazamientos guardan relación con la estructura geológica de la zona (fallas, contactos, etc.).

Se agradece la colaboración prestada en el terreno por Enrique Tidy y la cesión de algunas de sus fotografías para el presente informe.

## Relieve

La topografía de la zona se caracteriza por una serie de cordones o serranías que forman la Cordillera de la Costa. Estas serranías se disponen según un rumbo general Norte-Sur, aún cuando existen numerosos cordones pequeños que presentan otras direcciones.

La serranía principal es la continuación hacia el Norte de la correspondiente a los Cerros El Roble y La Campana, y ella forma en el área una altiplanicie de 2000 a 2200 m de altura que se prolonga hasta el Cerro Alto del Durazno. Desde este punto hacia el Norte desaparece esta altiplanicie, y en su lugar aparece una serie de cordones que bajan hasta 1300 m.

La altiplanicie está constituida por una faja de rocas andesíticas muy potentes y duras, pertenecientes a la Formación Veta Negra.

Las serranías están interrumpidas por el valle del Río Aconcagua con sus afluentes principales en esta zona: El valle de El Melón (que recibe las aguas del Carretón y El Cobre) y el Valle de Catemu; por el Norte la topografía está cortada por los Valles del Río La Ligua y del Río Petorca. El primero de ellos tiene sus afluentes principales en Quebrada de La Patagua, Quebrada de los Angeles y Quebrada Alicahue. El Río Petorca tiene sus principales afluentes en la Quebrada Cantarito y la Quebrada El Sobrante.

En la Costa el relieve consiste en una planicie levemente ondulada que tiene su máxima amplitud en la zona de la desembocadura del Río Aconcagua y que se angosta hacia el Norte hasta desaparecer en Maitencillo. Una nueva planicie costera se encuentra en la parte Norte del área, desde la desembocadura de los Ríos Petorca y La Ligua hasta Pichidangui.

## Clima y Vegetación

El área estudiada corresponde al borde Sur de la zona de las estepas cálidas en la clasificación de Almeyda Arroyo.

El clima de la región es semiárido, con una temperatura media anual de 15 a 17° C y con lluvias estacionales durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto.

Existe una diferencia climática a ambos lados de las altas cumbres de la Cordillera de la Costa: En la parte Occidental de

ésta, las neblinas son frecuentes en los meses de primavera y verano, las precipitaciones son mayores que en la parte oriental y el promedio de temperatura es más bajo.

La vegetación natural se compone de árboles pequeños y arbustos espinosos muy escasos en las cumbres y a veces abundantes en los fondos de los valles, especialmente en la zona costera.

Almeyda Arroyo (1958) da los siguientes datos pluviométricos para algunos de los lugares visitados:

Lugar	Promedio Anual en mm.	período de observación (años)
Chincolco	216	22
Petorca	247	28
Cabildo	319	27
La Ligua	361	43
Zapallar	348	17
La Calera	358	43
Llay-Llay	300	14
Quillota	402	38

El 60 o 70% de las precipitaciones cae en los meses de invierno (Mayo incluido).

#### *Antecedentes geológicos.*

Las rocas aflorantes en la región en estudio consisten principalmente (Thomas, 1958) en lavas, tobas y brechas volcánicas y sedimentos marinos y continentales; el conjunto es de edad mesozoica y posee un rumbo general N-S, con buzamientos que varían entre unos 15° y unos 45° al Este. La potencia total de estos sedimentos y lavas mesozoicas es del orden de los 14.000 m y ellos han sido afectados por los siguientes acontecimientos: Un plegamiento suave en el Triásico Superior; fallamiento durante el Jurásico Superior (Alvarez, 1964); un plegamiento más fuerte durante el Cretácico Superior, al fin del cual se produce la intrusión del Batolito Andino; movimientos epeirogénicos durante el Terciario (Oligoceno)? con fallamiento; este fallamiento ha continuado durante buena parte del Terciario y en el Pleistoceno; en el Plioceno

se produce un movimiento de ascenso del continente.

El Batolito Andino es de composición diorítica, pudiendo variar comúnmente a monzonita, granodiorita o tonalita.

En la zona en estudio los sedimentos pleistocenos pueden dividirse en dos tipos principales:

- a) sedimentos aluviales y terrazas fluviales y
- b) sedimentos eólicos, de playa y de terrazas marinas.

Los sedimentos comprendidos en a) tienen su distribución en los valles de los ríos más importantes, mientras que los del tipo b) se presentan en la zona costera, esto es, entre el margen occidental de la Cordillera de la Costa y el Océano Pacífico.

### *Historia Sísmica*

El Departamento de Geofísica y Geodesia de la Universidad de Chile (inédito) ha confeccionado una lista de los principales sismos ocurridos en Chile en tiempos históricos, recurriendo para eso a diversas fuentes. En esta lista se advierte que un total de 25 sismos han tenido su epicentro en la zona enmarcada por los paralelos 31 y 34° de Lat. Sur y los meridianos 70 y 73° W. Las magnitudes de estos sismos varían entre 4,0 y 8,4 y las profundidades de los hipocentros están comprendidas entre los 140 kilómetros y valores iguales o menores que 60 Km.

El principal de estos sismos parece ser el del 17 de Agosto de 1906, ocurrido a las 20:40 hora local con epicentro en 33° Lat. Sur y 72° Long. W. La magnitud medida en esa oportunidad fue de 8,4 en la Escala de Richter y la profundidad del hipocentro menor que 60 kilómetros. Este terremoto produjo destrucciones desde Quilimarí a Curicó (32° a 35° Lat S) sintiéndose además en Arica, Buenos Aires, Neuquén y Ancud. En esa oportunidad hubo más de 3000 muertos.

Por otra parte Federico Greve (1956) da un estudio estadístico de los sismos sentidos en Chile entre los años 1942 y 1955. En este trabajo el autor concluye que la zona más sísmica de Chile, durante dicho período, quedó comprendida entre los paralelos 26° y 37° de latitud Sur. Desglosando esta área en zonas de un grado cada una, resulta que la mayor cantidad de sismos ocurrió en la zona de Copiapó (entre los grados 27° a 28° Lat. Sur,) siguiéndola en frecuencia la zona de Quillota entre los grados 32 a 33 Lat.

Sur con un total de 834 sismos. Esta última zona presenta el más alto porcentaje índice de sismos de alta intensidad luego de la zona de Chillán.

Estos 834 sismos ocurridos en el lapso indicado entre los paralelos 32 y 33° de Lat. Sur se arreglan según las siguientes intensidades:

- 396 sismos de grados I y II de la Escala Mercalli
- 388 sismos de grados III y IV de la Escala Mercalli
- 47 sismos de grados V y VI de la Escala Mercalli
- 3 sismos de grados VII y VIII de la Escala Mercalli

### *Daños en la edificación*

#### a) Escala de daños y tipos de edificación

Para estimar los daños en la edificación se utilizó la escala descrita por Richter (1958, p. 136); dado que los tipos de edificación son pocos en la zona, esta escala se redujo a cuatro términos de daños y cuatro tipos de edificios, que son:

- Daños: *Grave*, Caída o tumbamiento de murallas, colapso de techos.  
*Serio*, Fracturas en murallas, desencuadre de marcos.  
*Leve*, Grietas en muros, cornisas caídas  
*Nada*, Incluye también vidrios quebrados, estuco partido, tejas corridas.

#### Tipos de construcción:

- A: Mortero de cemento c/ladrillo, con cadenas y pilares de concreto armado. Edificios calculados.
- B: Albañilería de cemento, sin pilares reforzados. Construcciones de madera con vigas y pies derechos.
- C: Casa de adobe, con madera, o adobe con piedra, con pies derechos.
- D: Construcciones heterogéneas, de diseño improvisado, adobe sin refuerzos ("edificación espontánea").

Los daños causados por el sismo en la edificación dependen fuertemente de la calidad de ésta, de tal modo que las estimaciones de intensidad en la Escala de Mercalli están siempre referidas a la escala de tipos de edificación dada más arriba.

#### b) Ciudades y pueblos.

En el recorrido por la zona afectada por el sismo se trató de valorizar los daños sufridos por los diferentes tipos de edificaciones, catalogando estos daños de acuerdo a la tabla anteriormente insertada. Se procedió en las ciudades más importantes a efectuar una encuesta rápida de la mayor parte de los edificios, valorando en cada caso la calidad de la construcción y el grado en que había sido afectada por el movimiento sísmico, llevando estos valores a una tabla. Se estudiaron con mayor detenimiento las construcciones principales en cada ciudad (Tipos A y B) determinándose en estos casos: El arreglo u orientación preferencial de las grietas, si estas grietas afectaban las estructuras del edificio, el tipo de esfuerzo a que las murallas habían sido sometidas de acuerdo a su orientación y al tipo de grietas que presenta, y el posible sentido del movimiento que las había afectado de acuerdo a las medidas anteriores.

En los pueblos y caseríos muy pequeños sólo se anotó a modo de resumen los efectos del sismo en los distintos tipos de edificación la cual en estos casos resultó de mala calidad (tipos C y D).

A continuación se insertan los resúmenes y las tablas que contienen los principales daños sufridos por las diferentes localidades visitadas. En las tablas se anota el número de edificios de cada tipo que ha sufrido diferentes grados de daños.

Las Varillas: En esta localidad, por el desplome de un muro se infirió un sentido  $N 65^{\circ} W$  del movimiento.

Catemu: (Resumen)

Edificación Tipo A : leve

B : leve

C : serio

D : grave

En la localidad de Catemu, se visitó el edificio de la Escuela Pública, el cual corresponde a un tipo A de edificación. En los muros de orientación  $N 20^{\circ} W$  se observó un juego de grietas de tensión, de inclinación entre  $40$  y  $50^{\circ}$  hacia el SE. Estas grietas afectan las cadenas del edificio. El sentido principal del movimiento que se infirió fué  $N 10^{\circ} E$ .

Llay-Llay:

	Nada	Leve	Serio	Grave
Edificación Tipo A	3	12	-	-
Tipo B	-	11	10	-
Tipo C	5	20	23	20
Tipo D	-	-	4	21

Calera a Nogales:

Edificación Tipo A	-	-	-	-
Tipo B	1	-	1	-
Tipo C	-	-	5	11
Tipo D	-	-	-	2

Nogales:

Edificación Tipo A	4	-	-	-
Tipo B	-	7	1	2
Tipo C	-	7	-	26
Tipo D	-	-	1	3

Chincolco: (Hospital)

Edificación Tipo B: Serio

Guangualí: (Resumen)

Edificación Tipo C : Serio a Grave  
Tipo D : Grave

Papudo: (Resumen)

Edificación Tipo A : Leve  
Tipo B : Serio +  
Tipo C : Serio-Grave

La Ligua :

Edificación Tipo A :	11	4	1	-
Tipo B :	1	12	17	3
Tipo C :	-	4	44	41
Tipo D :	-	3	2	17

En el edificio (Tipo A) de la principal industria textil de la ciudad de La Ligua, se anotaron grietas de compresión en los muros de orientación E W, así como desplazamientos de máquinas

pesadas, las cuales estaban apernadas a una losa nivelada. Estos desplazamientos permiten reconocer un sentido del movimiento hacia el Este.

<u>Cabildo:</u>	Nada	Leve	Serio	Grave
Edificación Tipo A	6	4	3	-
B	-	3	9	-
C	-	7	73	60
D	-	-	1	12

En la localidad de Cabildo se visitó la Escuela Pública la cual corresponde a una edificación de Tipo A. En los muros orientados N 65° E, se midieron 2 juegos de grietas (de Tensión?): 1 juego con una inclinación de 41° hacia el SW y el otro juego con una inclinación de 22° hacia el NE. En los muros orientados perpendicularmente a los anteriores se observaron grietas verticales, de compresión al parecer.

Pedegua: (Resumen) (Daños menores que en Cabildo)

Edificación Tipo A : Leve  
 B : Leve  
 C : Serio  
 D : Serio

Petorca:

	Nada	Leve	Serio	Grave
Edificación Tipo A	1	-	-	-
B	1	2	2	-
C	-	12	40	16
D	-	-	1	12

c) Daños en caminos y puentes.

Los daños causados por el sismo en los caminos de la zona se debieron principalmente a derrumbes y desprendimientos de roca. Ellos fueron especialmente notables en aquellos lugares en que el camino corta formaciones sedimentarias y en algunas partes en que las rocas volcánicas están bien estratificadas y poseen un sistema de diaclasas bien desarrollado. Todos estos derrumbes son de carácter muy local y están vinculados muchas veces con fallas o zonas de falla de escasa magnitud. La mayor frecuencia de derrumbes se observó en rocas sedimentarias de las Formaciones Lo Valle

y Las Chilcas. Las rocas intrusivas, aún muy intemperizadas o fracturadas, y las calizas presentes en varias formaciones de esta área, en cambio, muestran una resistencia notable al desprendimiento y prácticamente no se observaron derrumbes en ellas.

Una posición intermedia la ocupan las rocas andesíticas ("Porfiritas"), de amplia distribución en toda el área afectada por el sismo. Cuando estas rocas están frescas, no se producen derrumbes en ellas (por ejemplo, en el túnel de La Grupa). Sin embargo, ellas están fracturadas con mayor frecuencia que otros tipos de rocas, debido probablemente a su mayor fragilidad, y en los lugares en que fallas o diaclasas son abundantes, la frecuencia de los derrumbes es mucho mayor (p. ej. en el camino de Llay-Llay a San Felipe).

Otro tipo de daño común tanto a caminos como a puentes, pero más frecuente en estos últimos, son los hundimientos y dislocación de terraplenes. Estos se deben a compactación del material de relleno, y su magnitud depende directamente de la altura total del terraplén y del grado de clasificación del material de relleno, e inversamente de la edad (tiempo de compactación) y del ancho del terraplén (fotos 1 y 2). Estas relaciones se explican si se interpreta la compactación como un arreglo de los granos del material en una disposición más compacta a expensas del espacio poral. Al parecer los terraplenes hechos de material chancado cedieron algo más que aquellos hechos de agregados naturales (peor clasificados).

Los mayores daños por hundimientos de terraplenes se produjeron en aquellos lugares en que la compactación fue diferencial, debido ya sea a cambios en el grado de clasificación del relleno o, más frecuentemente, a un hundimiento uniforme del terraplén acompañado de un movimiento escaso o nulo del puente, que estaba fundado sobre terreno firme y poseía un período de vibración diferente al del terraplén.

El puente Pullalli, frente a Quínquimo (ver mapa) fué el más dañado de la zona y puede servir como ejemplo de los diversos tipos de daños.

El puente tiene unos 50 m de largo y cruza el estero Pullalli en un ángulo de  $70^{\circ}$ ; el camino corre aquí en dirección N  $25^{\circ}$  W. Los diversos tramos del puente están apoyados sobre los pilones y son solidarios entre sí por medio de piezas metálicas apernadas, en las dos vigas principales de cada tramo (fotos 3 y 4).

Los terraplenes N y S del puente se hundieron ligeramente (20-30 cm) causando algo de separación y fracturamiento de los

bloques de concreto del camino. El relleno es bajo (5 m) de agregado natural y con un tiempo de consolidación considerable (más de 10 años).

El daño más grave del puente fue causado por un desplazamiento relativo entre las partes N y S del puente, el cual provocó la caída del segundo tramo (desde el N). Las amarras, hechas para resistir desplazamientos en la dirección del puente, fueron cortadas por el bloque en su desplazamiento. La dirección del desplazamiento fue aproximadamente E-W, y el tramo sur del puente quedó corrido permanentemente 20-30 cm hacia el W (ver fotos 1 y 5). Estos efectos son adjudicados a una deformación del terreno de fundación causada por una componente del movimiento real del sismo.

Es posible que parte del efecto se deba a la escasa superficie lateral de los pilares, lo cual tendría por efecto un aumento de la presión ejercida por éstos sobre el terreno en caso de un desplazamiento relativo. Esto puede observarse en las huellas dejadas por los pilares en el terreno, en que las grietas hacia el E y W (especialmente las primeras) son mucho más anchas que las hechas hacia el N y S (ver fig. 1).

No se observaron daños en la vía férrea; los postes de energía eléctrica del ferrocarril Santiago-Valparaíso se doblaron en algunas partes y cayeron sobre la vía. Este daño, sin embargo, parece haber sido causado más bien por la oscilación de los cables que por desplazamientos del terreno o vibración de los postes mismos.

#### d) Daños en El Cobre.

El trenque de relaves de la mina de cobre El Soldado (de la Compañía Minera Disputada de Las Condes), situado a 17 km al NE del pueblo de El Melón (ver mapa), sobre el Estero El Cobre, cedió en parte y el material de relave fluyó aguas abajo por el Estero El Cobre.

Este trenque había sido formado por un procedimiento común en las minas de la zona central norte y Norte Chico, que consiste en hacer fluir los desechos de las plantas de tratamiento (en este caso de flotación) en forma de un barro líquido hacia una depresión natural; las partículas se sedimentan, dando una característica alternación de capas arenoso-limosas y arcillosas. La decantación y expulsión por compactación de las capas subyacentes, permite recuperar parte del agua para volver a usarla en el tra-

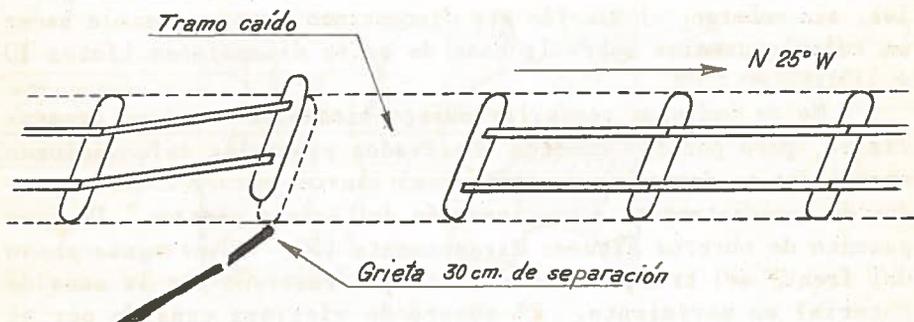


Fig. Nº 1

tamiento de los minerales. Una buena cantidad de agua se pierde también por evaporación, como lo prueban las grietas de secamiento cóncavas hacia arriba (Twenhofel, 1950) ilustradas en la foto 6.

Este mecanismo de sedimentación proporciona tal vez el arreglo más suelto posible en un sedimento, ya que no puede producirse un empaquetamiento entre las partículas, por estar éstas envueltas en una película de arcilla coloidal. Debido además, a que el proceso de sedimentación es en sí mismo uno de clasificación granulométrica, la porosidad es grande, ya que cada unidad de sedimentación corresponde distintamente a un intervalo de tamaños de grano.

Este tipo de trenque no tiene muros de contención de ningún tipo, y con el fin de evitar derrumbes en su frente suele llevar una defensa de sacos de arena dispuestos en una o más corridas en el frente. Tal era el caso en El Cobre.

El trenque de El Cobre ocupa el valle sub-reciente del Estero El Cobre a todo su ancho y sus dimensiones eran aproximadamente 200 a 400 m de ancho, unos 1500 m de largo y 20-25 m de altura.

El volumen del aluvión, difícil de calcular debido a la carencia de levantamientos topográficos o fotos aéreas recientes, fué estimado como del orden de  $10^6$  m<sup>3</sup>; esta estimación está basada en la comparación de fotografías tomadas antes y después del sismo (fotos 7, 8 y 9). El material resedimentado por el aluvión cu-

brió un área en el valle del Estero El Cobre, de unos 8 a 10 km de largo, a todo lo ancho del valle (200-500 m), y en un espesor que variaba desde 5 m en la parte más alta, disminuyendo de espesor aguas abajo; a la altura del puente El Cobre, en la Carretera Panamericana, el espesor era de unos 2 m. En las partes marginales, sin embargo, el aluvión era discontinuo y no es posible hacer un cálculo preciso sobre la base de estas dimensiones (fotos 10 y 11).

No se pudieron recopilar observaciones de testigos presenciales, pero por los efectos observados y por las informaciones aparecidas en despachos de prensa, el aluvión parece haberse producido inmediatamente a continuación del primer remezón. Un campamento de obreros situado directamente (50 - 80 m) aguas abajo del frente del trenque fue cubierto y arrastrado por la masa de material en movimiento. El número de víctimas causado por el aluvión sólo puede ser estimado, debido al carácter inestable de la población de este tipo de campamentos y a la carencia de datos estadísticos fidedignos recientes. Las estimaciones, para un total de entre 60 y 100 casas, fluctúan entre 250 y 400 muertos.

No hubo sobrevivientes entre los ocupantes de este campamento y las faenas de rescate de las víctimas fueron interrumpidas luego de haberse recuperado algunas decenas de cadáveres.

Dado que todas las casas destruídas eran de material ligero y su destrucción fué total, no se pudo hacer una estimación de la fuerza del impacto ni de la velocidad de flujo del aluvión.

El material que fluyó puede ser descrito como una arena fluída, compuesta de una agregación de clastos de arena y limo incluídos en una matriz arcillosa (fotos 12 y 13). Este agregado estaba saturado con agua al momento del sismo, y se concluye que la vibración produjo una disrupción de la compactación del material, quedando cada grano de arena y limo flotando en la matriz arcillosa, o sólo en contacto tangencial con otros granos (Fig. 2).

Al establecerse una continuidad dentro de la masa de arcillas saturadas de agua, esta masa se transforma por definición en un líquido, manteniéndose en este estado hasta que se produce un nuevo ordenamiento textural como resultado del movimiento y una fracción importante del agua de saturación es expulsada. Grandes cantidades de agua son liberadas de esta manera durante los fenómenos tixotrópicos, y esta agua generalmente retrabaja o arrastra parte del material que ya ha fluído (fotos 14 y 15).

Probablemente la licuación tixotrópica de los relaves de El Cobre comenzó en la parte interna más saturada de la masa de

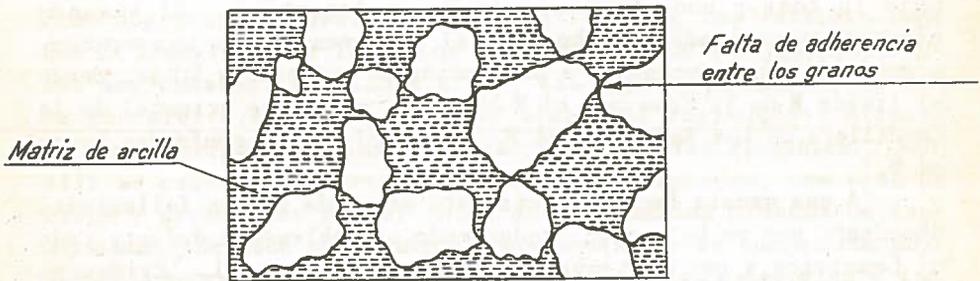


Fig. N° 2

sedimentos, y al transmitir esta masa líquida su empuje horizontal al material algo más consolidado en el frente, lo fracturó y provocó uno o varios derrumbes. Sin embargo, la mayor parte del volúmen transportado parece corresponder al producto directo de flujo líquido. La vibración fue probablemente favorecida por la presencia de planos de cizalle a lo largo de alternaciones de arcilla y arena en el material de relave (foto 12).

Los datos calculados para el material del relave (ver Apéndice), coinciden con las características señaladas por Terzaghi y Peck (1948) para las arenas inestables, especialmente: Alto porcentaje de vacíos en el estado natural; alta esfericidad de los granos; diámetro efectivo menor que 0.1 mm; granulometría (mala clasificación, con una fracción arenosa fina importante y una fracción arcillosa fina importante también). Por último, la densidad relativa que según Terzaghi y Peck debe ser menor que 0,5 dió exactamente este valor en la muestra. Sin embargo, dado que la muestra al estado natural había sido algo transportada, el valor de  $e$  es seguramente menor que el verdadero y por lo tanto el valor de 0,5 para la densidad relativa es el máximo posible.

### Relación entre la geología y los daños

#### Consideraciones generales.

En términos estructurales a gran escala, Harrington (1963) señala para esta zona dos planos de mayor concentración de los hipocentros: Uno se extiende desde más allá de la fosa de Richards, buzando 25-40° al Este; su profundidad varía entre unos 15-20 km bajo la fosa y unos 600 bajo la Pampa Argentina. El segundo plano es aproximadamente horizontal y corresponde a una concentración de los hipocentros a profundidades entre 30 y 50 km, desde el límite W de la fosa por el W hasta la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes por el E. Ambos planos se confunden hacia el W.

A una escala local la zona está afectada por un fallamiento abundante que se ha venido produciendo probablemente durante todo el Cenozoico y que continúa hasta el momento actual. Evidencia de este fallamiento se encuentra en el curso del río Aconcagua, cerca de Las Vegas, cerca de Hijuelas (Thomas, 1958) en las Palmas, Cuesta de Chincolco, y en diversos otros lugares.

Aunque con gran probabilidad el movimiento sísmico del 28 de Marzo no tuvo una relación directa con estas fallas, por ser un fenómeno de cierta profundidad, la intensidad fué mayor en por lo menos dos lugares cruzados por fallas: En la Cuesta de Chincolco, donde se desarrolló un sistema de grietas N-S directamente sobre una falla NS, y en el pueblo Hijuelas, donde Thomas (1958) había señalado una probable falla; en este último lugar, sin embargo, la relación no es muy sencilla debido a la cercanía de un cordón montañoso (ver párrafo sobre daños en terrenos aluviales).

Los dos factores más importantes que determinan la magnitud de los daños a la edificación son la calidad del terreno de fundación y el tipo de construcción. La topografía de la zona es relativamente reciente, lo cual tiene como resultado que el tipo de suelo depende fuertemente de la clase de roca subyacente, y no tanto del clima. Esta relación hace que, como veremos más adelante, la magnitud de los daños dependa en gran medida de la geología local.

Para los fines de este informe, los terrenos de fundación serán divididos en las siguientes clases:

- a) aluviales (antiguos y recientes)
- b) terrazas antiguas
- c) roca fresca y regolitos
- d) suelos fangosos de esteros y vegas

Las clases a y d tienen el nivel freático aflorante o muy cerca de la superficie, en tanto que este nivel es considerable-

mente más profundo en las clases b y c.

Existen razones tanto históricas como climáticas y económicas que hacen que la mayor parte de los centros poblados en el área que nos interesa hayan sido edificados sobre terrenos aluviales o sobre el límite entre terrazas y alluvium

La ocupación de esta zona por el hombre se realizó teniendo como objetivo el aprovechamiento agrícola de los valles. Dado que la topografía de la región es abrupta y que las precipitaciones son escasas (ver tabla p. 3), los únicos lugares aptos para el cultivo eran los terrenos aluviales recientes y algunas terrazas antiguas, en las cercanías de los valles fluviales. Sólo allí se cuenta con terrenos planos, bien drenados, con agua de riego y protegidos por el valle de los cambios bruscos de temperatura. De este modo, sólo excepcionalmente se encuentran edificios o estructuras fundadas sobre suelos de las categorías c y d.

En diversas localidades, de las cuales Hijuelas es un buen ejemplo (foto 16), se observa que los daños son mayores en aquellas zonas aluviales cercanas a cordones montañosos. Se interpreta este efecto como causado por 3 hechos principales: La velocidad de propagación de las ondas compresionales es mayor, y ellas llegan directamente y sin ser sometidas a dispersión a las zonas subyacentes por roca; el espesor del relleno aluvial es irregular en las cercanías del margen de los valles, y por último, al llegar considerablemente antes el empuje de las ondas compresionales, el área es sometida a dos remezones discretos, cuyo efecto es mayor que el de uno solo que tuviera la misma energía.

#### a) Terrenos aluviales.

Los daños más severos a la edificación están en general en construcciones fundadas sobre este tipo. Prácticamente todas las ciudades y pueblos del área visitada están sobre aluvio, reciente o antiguo.

La mayor parte de la compactación de estos terrenos es atribuible a una disminución de la porosidad y a variaciones notables de espesor, originadas por la irregularidad del relleno del valle fluvial en que se han depositado. A pesar de hallarse saturados o casi saturados, no se observó movimiento de masa en ninguna parte, sino hundimientos en cuya generación el agua no actuó como lubricante sino más bien fue expulsada de los espacios porales al producirse un empaquetamiento más denso de los clastos.

La ciudad de La Ligua, una de las más dañadas por el sismo, (ver fotos 17 y 18), está edificada en su casi totalidad sobre

aluvio, buena parte de él reciente. Aunque el tipo de edificaciones (generalmente B y C) es aquí determinante, es notorio que la intensidad fué aquí mayor que en Valle Hermoso, a sólo 10 km de distancia pero construido sobre una terraza fluvial.

#### b) Terrazas fluviales.

Los cursos de los ríos Petorca y La Ligua, especialmente en su parte inferior, están flanqueados por terrazas fluviales antiguas que han sido descritas recientemente por Paskoff (1963).

Estas terrazas son firmes, estabilizadas, con un desarrollo generalmente apreciable del perfil del suelo; la mayor parte de los cultivos agrícolas locales se desarrolla sobre ellas.

No hay muchas edificaciones sobre estas terrazas, excepto algunas casas de fundo, por las razones que han sido expuestas al comienzo de este capítulo, pero en general puede decirse que los daños son menores que en terrenos aluviales más recientes. El hospital nuevo de La Ligua, construido sobre la terraza, resistió incólume el sismo, a 200 m de distancia de una de las zonas de mayor destrucción.

#### c) Roca fresca y regolitos.

Este tipo de terreno se encuentra en aquellos lugares en los cuales la denudación ha sido muy activa. Esta circunstancia, unida a la aridez general de la zona, determinan que prácticamente no haya construcciones sobre terrenos de esta categoría. De los diversos pueblos visitados, sólo Cachagua y Zapallar están edificados en parte importante sobre regolito (de rocas graníticas), y en ambos lugares los daños dependieron fuertemente de la topografía.

En distancias de pocas decenas de metros la intensidad de los daños varía desde leve o nula a grave, y ella guarda una relación estrecha con la pendiente: Los mayores daños se hallaron casi exclusivamente en quebradas y pendientes fuertes, allí donde el espesor del regolito es más variable, y donde el terreno puede deslizarse plásticamente.

En la cumbre de la cuesta de Chincolco se observó, en regolito de poco espesor (40-80 cm), un juego de grietas N-S (foto 19). Estas grietas parecen corresponder a un movimiento algo más intenso a lo largo de una importante falla NS que separa rocas graníticas al W de rocas sedimentarias mesozoicas (Formación Las Chilcas?) al E. Esta falla tiene su expresión topográfica

en dos valles NS que desembocan, uno en la Quebrada El Sobrante y el otro en el Estero Alicahue; la actividad pasada de esta falla está marcada por un considerable espesor (más de 30 m) de brecha de falla (foto 20).

d) Suelos fangosos de esteros y vegas.

Estos tipos de suelos azonales son muy raros en la zona, y prácticamente no se hallaron construcciones de alguna importancia fundadas sobre ellos. En los lugares en que fueron observados, estos suelos mostraron evidencias de una deformación plástica intensa y de expulsión del agua de saturación; sin embargo, como constituyen un riesgo evidente y como los terrenos secos son siempre asequibles en la región, se puede afirmar que la construcción sobre estos terrenos no constituirá un motivo de preocupación.

### Conclusiones

1) Según Richter (1958, p. 359), en forma general y aproximada, el número de sismos de una magnitud dada es más o menos 8 a 10 veces el número de sismos de una unidad de magnitud mayor, para un lapso determinado. Estos valores son mundiales, y varían de acuerdo a la sismicidad de la región particular que se estudie. Extrapolando los datos de Greve (1956) dados en la página 5 de este informe y estimando su equivalente en magnitud, podría afirmarse que un sismo de poca profundidad y de magnitud 7,0 o mayor es un riesgo relativamente corriente en el área objeto de este informe (uno cada 15 a 40 años).

2) El movimiento sísmico del 28 de marzo de 1965 fue normal, o de poca profundidad, y aunque no guardó relación directa con fallas, el área epicentral es tectónicamente activa. Además sus efectos fueron mayores en aquellas zonas con fallamiento pleistoceno o reciente.

3) La intensidad del sismo fue, en grados de la escala Mercalli: IX en Hijuelas; VIII en Cabildo, La Ligua, Papudo y Zapallar; VII en Llay Llay, Quillota y Viña del Mar; VI en Quintero y Valparaíso.

4) Los daños a las estructuras construídas por el hombre son máximos en los terrenos aluviales, que son, además, aquellos sobre los cuales está construída la mayor parte de los centros urbanos de la zona. Estos daños son de mucha menor consideración en las terrazas fluviales y regolitos de poca pendiente.

5) La distribución de los daños en los distintos tipos de edificación es discontinua, con daños severos en los tipos A y B: A cierto nivel de calidad de edificación, un aumento no muy grande en la calidad resulta en un incremento notable en la resistencia a los efectos destructores de un sismo de intensidad similar al 28 de marzo.

6) Los elementos que ocasionaron más destrucción en casas habitaciones fueron los techos pesados, cornisas, voladizos y esquinas no reforzadas (fotos 21 y 22).

7) Los daños en caminos fueron causados exclusivamente por hundimiento de terraplenes; este hundimiento fue mayor en aquellos casos en que el material del terraplén mostraba poca dispersión de tamaño de grano.

8) El trænque de relaves de El Cobre cedió por pérdida de fricción tixotrópica y derrumbes conexos. Los factores que favo-

recieron este fenómeno fueron: Granulometría (ver Apéndice) y microtextura del material de relave; grado de saturación de agua; pendiente pronunciada del frente del trénque; altura del trénque; alteración; alternación de capas arcillosas y arenosas en la sedimentación de los relaves, dando origen a otros tantos planos de cizalle. El flujo del material de relave fue provocado por las vibraciones sísmicas; sin embargo, las características mecánicas del material determinadas en el laboratorio indican que él podría haber fluído sin la intervención de causas externas.

### *Recomendaciones.*

De los datos dados en el texto y especialmente de las conclusiones dadas en el capítulo anterior, se pueden formular las siguientes recomendaciones mínimas.

1) La reedificación de las ciudades y pueblos más dañados por el sismo debería hacerse previo un conocimiento de la geología de los terrenos de fundación; aún cuando este conocimiento sea somero, permitiría la formulación de algunas reglas generales para la fundación de edificios cuyo uso evitaría muchas pérdidas de vidas y materiales. Como tipo de estudio preliminar, se sugiere el del estudio de Grimme y Alvarez (1964). Dado que no es económico realizar un estudio de mecánica de suelos para construcciones de poca envergadura, un mapa de los terrenos de fundación constituiría la única guía asequible para la construcción sobre áreas de considerable extensión en la zona. Un mapa del tipo propuesto debería consignar, por lo menos, la composición, textura, estructura y profundidad del suelo; la morfología del terreno, especialmente relieve y drenaje; la profundidad y variaciones del nivel freático; y datos pertinentes de la estructura geológica (tipo de roca original, alteraciones, diaclasas y fallas).

2) La edificación deberá hacerse de acuerdo con normas formuladas sobre la base del riesgo sísmico que se deduzca de los estudios mencionados en el punto anterior. Es especialmente recomendable el exigir una edificación racional en todo tipo de construcciones y no sólo para aquellas de gran tamaño.

3) Como una medida preliminar y sin necesidad de estudios más avanzados, es muy aconsejable estimular la construcción, en la medida en que sea factible, sobre las terrazas fluviales, un tipo de terreno ampliamente repartido en la zona y de propiedades mecánicas mucho más favorables que el relleno aluvial.

4) El pueblo de Hijuelas debería ser reconstruído en otro lugar que no presentara las dos circunstancias desfavorables de su ubicación actual: Ubicado sobre el borde de un valle con relleno aluvial cercano a un afloramiento de roca firme y sobre una probable falla (Thomas, 1958).

5) En terrenos de regolito, construir sobre lugares de poca pendiente, para evitar el riesgo de deslizamiento de faldas.

6) Debe evitarse la edificación sobre terrenos de desembocaduras o confluencia de ríos. Si se ha de construir sobre terrenos aluviales, es preferible hacerlo en aquellos lugares en que el curso del río ha sido más lento, y por lo tanto, el grado de clasificación del sedimento es más bajo.

7) Se recomienda especialmente un estudio sobre otros trenques de relave de minas situados en el Norte Chico y Chile central; debe excluirse absolutamente la edificación aguas abajo de este tipo de material. Como es probable que varios de estos trenques constituyan un riesgo permanente, aún en la ausencia de fenómenos catastróficos (sismos o lluvias torrenciales), un estudio sobre este tema debería determinar las condiciones de estabilidad de estos trenques, que dependerán de la granulometría, altura, talud, saturación de agua, tipo de arcillas presente, tipo de sedimentación y forma del trenque.

8) Debería hacerse un control de la granulometría y otras condiciones de compactación de los terraplenes, considerando un aumento de la proporción de arcillas y hundimiento por vibraciones. Además, en el caso de fundación de puentes por pilares de sección rectangular, ellos deberían llevar zapatas que aumentaran su superficie de compresión en el caso de un movimiento sísmico.

## APENDICE

### Muestra de El Cobre.

La muestra provenía del derrumbe de los relaves de la Mina El Soldado y se sacó del material depositado en el Valle de El Cobre 6 Km aguas abajo del trenque. En ella se determinaron las siguientes características: Contenido de humedad, contenido de Carbonato, contenido de Solubles y Granulometría. Los resultados fueron los siguientes:

Contenido de Humedad	10%
Contenido de Solubles	0,4%
Contenido de Carbonato	12%

En los estudios granulométricos se procedió a tamizar la muestra en una serie de mallas correspondientes a la Escala de Wentworth; de allí se extrajo el residuo inferior a 1/16 de milímetro (limos y arcillas) y se sometió al análisis de Pipeta para determinar la granulometría de esta última fracción. El análisis arrojó los siguientes resultados:

Un 39,2% del material está contenido en la fracción arena entre los diámetros de 1 mm y 1/16 de milímetro. Un 46% en la fracción limo (diámetro entre 1/16 y 1/256 de mm). El resto, o sea un 14,8% corresponde a la fracción arcillas de diámetros menores que 1/256 de mm.; llevados los datos de granulometría a un histograma se puede observar que la muestra presenta muy mala clasificación (Figura 3); prácticamente no presenta clases modales; sólo existe en ella una tendencia de los granos a agruparse entre los diámetros de 1/2 a 1/32 de mm. El estudio de la curva acumulativa indica lo mismo y ésta se presenta como una curva suave, casi una recta, sin irregularidades, y de poca pendiente (valores entre 45° y 20°, ver Figura 4).

Los datos granulométricos indican una composición correspondiente a un loam limoso en la clasificación de Suelos (Soil Survey Manual, 1951).

El diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad (Terzaghi y Peck, 1948) son respectivamente 0,003 mm y 20. Las formas de los granos de las fracciones de limo y arena son aproximadamente equidimensionales y son estas fracciones las determinantes de las características del sedimento.

De acuerdo con las características más arriba mencionadas, este sedimento cae dentro de aquellos materiales que son suscepti-

bles de experimentar licuación espontánea (arenas inestables). Como lo hacen ver Terzaghi y Peck (op. cit., p. 102), la diferencia entre arenas estables e inestables no es muy grande desde el punto de vista sedimentológico, pero se puede ver claramente que la curva del material de El Cobre corresponde bastante bien a las curvas de arenas inestables de su figura 38 (p. 102).

Por otra parte, se pudo producir flujo tixotrópico en el terreno saltando repetidamente sobre el material ya escurrido y consolidado, pasadas 2 y 4 semanas del aluvión. La frecuencia de vibración corresponde aproximadamente a 2 ciclos por segundo, y ella bastó para producir flujo tixotrópico en un volumen de  $0.15 \text{ m}^3$  en dos minutos. Este mismo fenómeno se pudo producir posteriormente en Laboratorio con la muestra saturada de agua.

Con el fin de conocer la densidad relativa de la muestra se determinó la razón de vacíos en 3 estados: El estado natural en terreno, el estado más compactado que se pudo conseguir en Laboratorio, y el estado más suelto.

Los valores de la razón de vacíos (cuociente entre el volumen de poros y el volumen de sólidos), para los diferentes estados fueron los siguientes:

$e$  = Estado natural (muestra transportada) : 0,8

$e_c$  = Estado compactado : 0,4

$e_o$  = Estado suelto : 1,2

$$D_r = \frac{e_o - e}{e_o - e_c}$$

$$D_r = \frac{0,4}{0,8} = 0,5$$

Con estos valores se determinó una densidad relativa de 0,5. También se determinaron los porcentajes de vacíos de la muestra en su estado natural y en su estado más suelto posible. Este último estado se consiguió dejando sedimentar la muestra a partir de una suspensión muy espesa. Estos valores indican la relación porcentual entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra.

Los valores medidos fueron:

Porcentaje de vacíos en el estado natural: 45%

Porcentaje de vacíos en el estado más suelto: 55%

En la curva acumulativa de la muestra se determinó el diámetro efectivo, siendo éste el tamaño de partícula que corresponde a una frecuencia de 10%; este valor fué de 0,003 mm.

## REFERENCIAS CITADAS

- ALMEYDA ARROYO, ELIAS, 1958: Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura. D.T.I.C.A. Santiago.
- ALVAREZ, LEONARDO, 1964: Geología del Area Valparaíso-Viña del Mar. Instituto de Investigaciones Geológicas, Bol. N° 16 p. 27-58, Stgo., Ed. Universitaria.
- GREVE, FEDERICO, 1956: Estudio estadístico de los sismos sentidos en Chile durante los años 1942 a 1955. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, vol. XIII, p. 219-230.
- GRIMME, KURT y ALVAREZ, L., 1964: El suelo de fundación de Valparaíso y Viña del Mar. Inst. de Investigaciones Geológicas, Bol. N° 16 p. 5-26, Stgo., Ed. Universitaria.
- HARRINGTON, H.J., 1963: Deep focus earthquakes in South America and their possible relation to continental drift. In Munyan, A.C., Editor: Polar Wandering and continental drift.
- PASKOFF, ROLAND, 1963: Observations morphologiques sur les dépôts quaternaires de la basse vallée du rio La Ligua (Chili). B.S. G.F., 7<sup>e</sup>me ser. V, p. 644-649.
- RICHTER, C.F., 1958: Elementary seismology W.H. Freeman and Co., Sn. Francisco, 768 p.
- TERZAGHI, KARL, y PECK, R.B., 1948: Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York, 566 p.
- THOMAS, HEBERT, 1958: Geología de la Cordillera de la costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. Inst. Inv. Geológicas, Bol. N° 2, 81 p. Santiago, Ed. Universitaria.
- TWENHOFEL, W.H., 1950: Principles of sedimentation, 2<sup>nd</sup> Ed. New York, McGraw-Hill, 673 p.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1951: Soil Survey Manual., Handbook N° 18 U.S. Government Print Office, Washington 503 p.

L A M I N A S

# LAMINA I

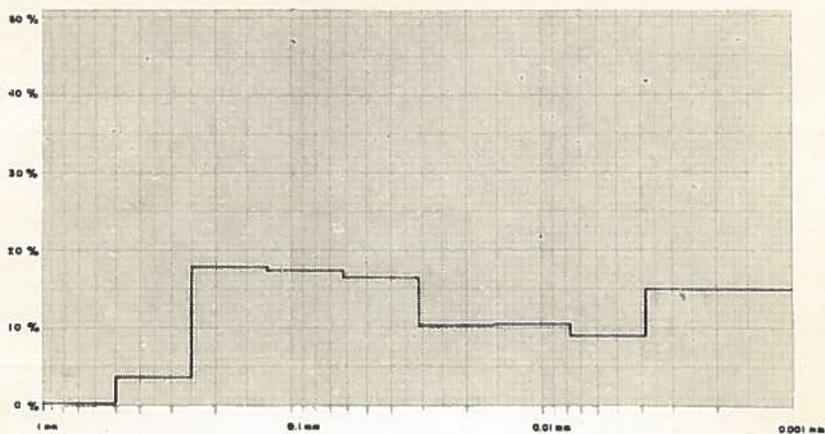


Figura 3. Muestra El Cobre. Histograma

2 7 4 3 0 1 1

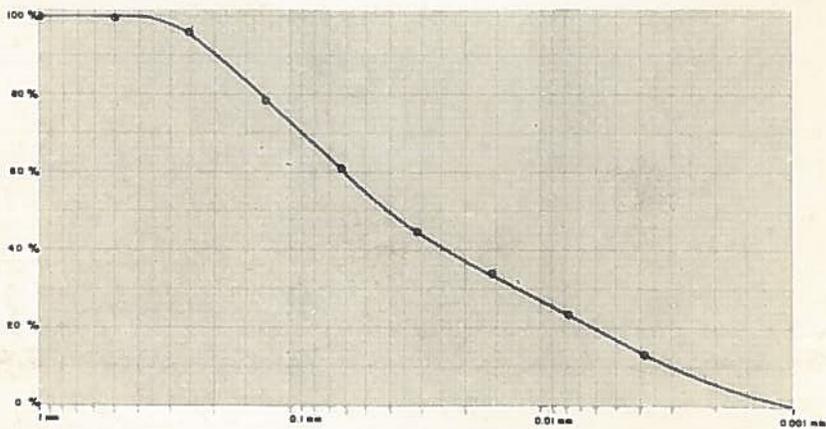


Figura 4. Muestra El Cobre. Curva Acumulativa

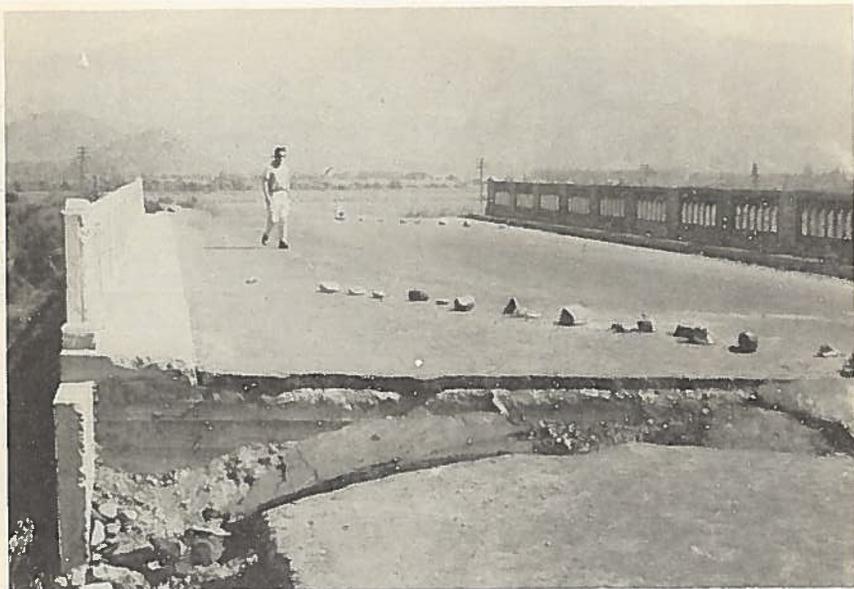


Foto 1. Puente 3 km al W de Llay Llay, camino a San Felipe. Ruptura del pavimento por hundimiento del terraplén poco consolidado.

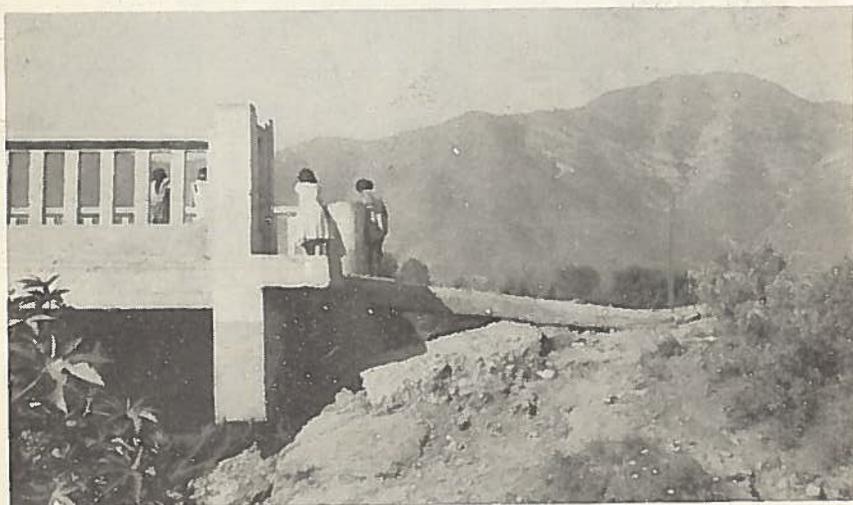


Foto 2. Puente Nogales en la Carretera Panamericana. Hundimiento de terraplén. Foto mirando hacia el E.

LAMINA III

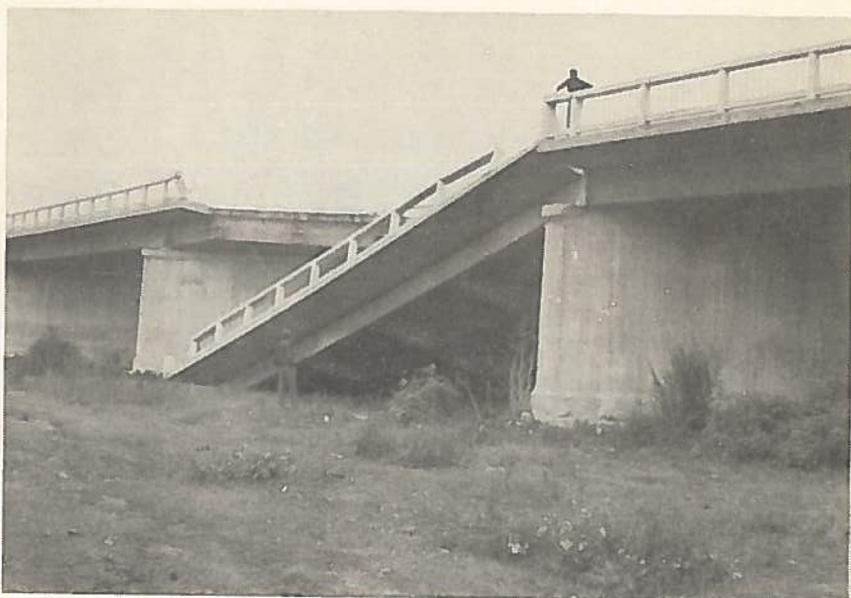


Foto 3. Daños en el Puente Pullalli; Vista mirando hacia el NE.



Foto 4. Bloque caído en el Puente Pullalli. Vista mirando en dirección N 25° W.



Foto 5. Desplazamiento lateral del Puente Pullalli. Tramo Sur (atrás) desplazado al WSW. Foto mirando hacia S 25° E.

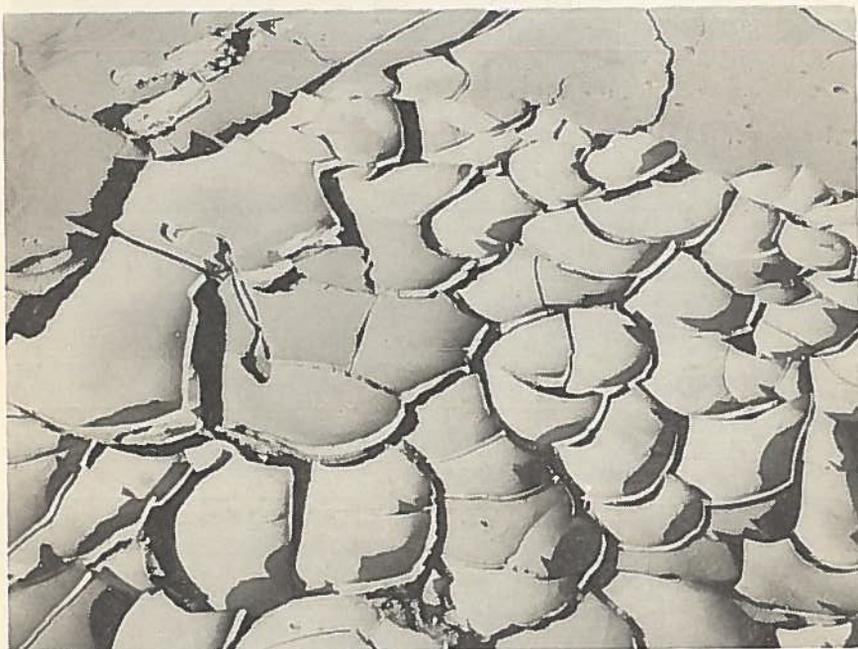


Foto 6. Grietas de desecamiento en capa arcillosa sobre limo. Superficie del trenque de relave de El Cobre. 30 de Marzo de 1965.

Foto 7. Vista del  
trenque de relaves  
de El Cobre, Febre-  
ro de 1965. Foto mi-  
rando hacia el Norte  
(Cortesía del Dr.  
Dietrich Herm).

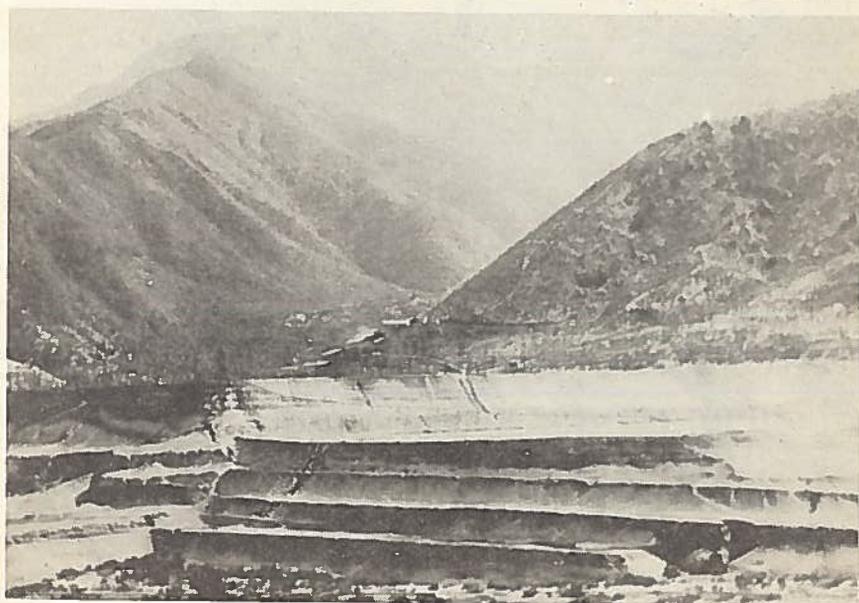


Foto 8. Id. Foto 7. Desde el valle mirando hacia el NW. (Foto corte-  
sía del Dr. Dietrich Herm).



*Foto 9. Panorámica de El Cobre, mirando hacia el Norte. A la derecha, trenque destruido y casas de la mina. Al centro, lugar donde estaba el campamento de obreros. El estero fluye de derecha a izquierda. 30 de Marzo de 1965.*



Foto 10. Material arrastrado por el aluvión de El Cobre. Puente El Cobre en la Carretera Panamericana. Se observan variaciones de espesor e inclusiones heterogéneas en la masa del relave. 10 de Abril de 1965.

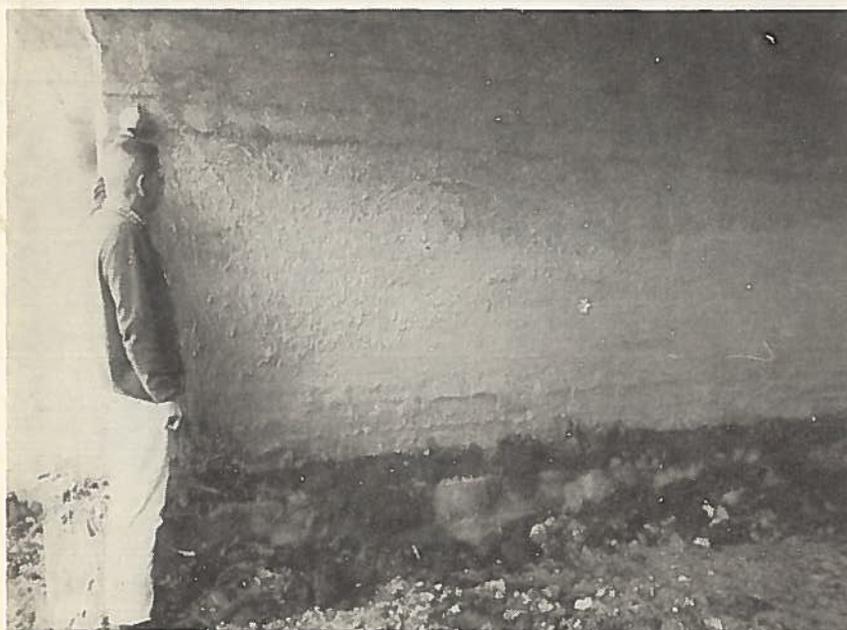


Foto 11. Altura a la cual pasó el aluvión en el Puente El Cobre, Carretera Panamericana. 10 de Abril de 1965.

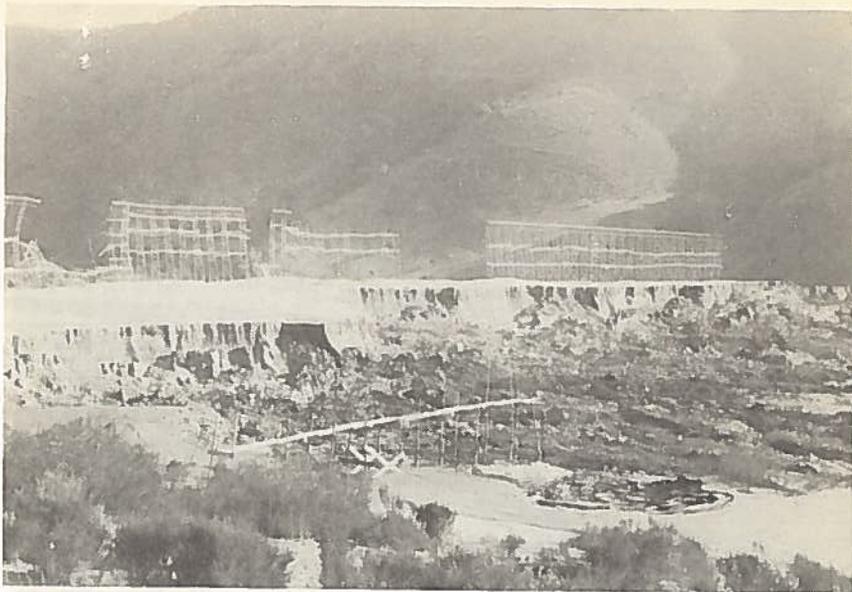


Foto 12. El trenque El Cobre después del derrumbe, vista hacia el SSE. Se observa el frente del derrumbe y parte de los andamios que distribuyen el relave; en el frente del corte se aprecian las capas arenosas y arcillosas alternadas. En primer plano, a la derecha, se ve una zona de colapso por expulsión del agua de saturación, 30 de Marzo de 1965.



Foto 13. Detalle del área de colapso de la Foto 12. El hundimiento se produjo en el material limoso, por debajo de la costra arcillosa superficial de unos 2 cm de espesor, por expulsión del agua de saturación. La depresión es semielíptica, de unos 200 x 120 x 30 cm. Las líneas punteadas son huellas de pájaros. 30 de Marzo de 1965.

LAMINA IX



Foto 14. Vista desde el trenque hacia aguas abajo del Estero El Cobre. Se observan evidencias de expulsión de agua de saturación. 30 de marzo de 1965.



Foto 15. Frente del trenque El Cobre, mostrando un flujo lateral de relave que inundó una cancha de fútbol. Vista mirando hacia el ESE. 30 de Marzo de 1965.

LAMINA X

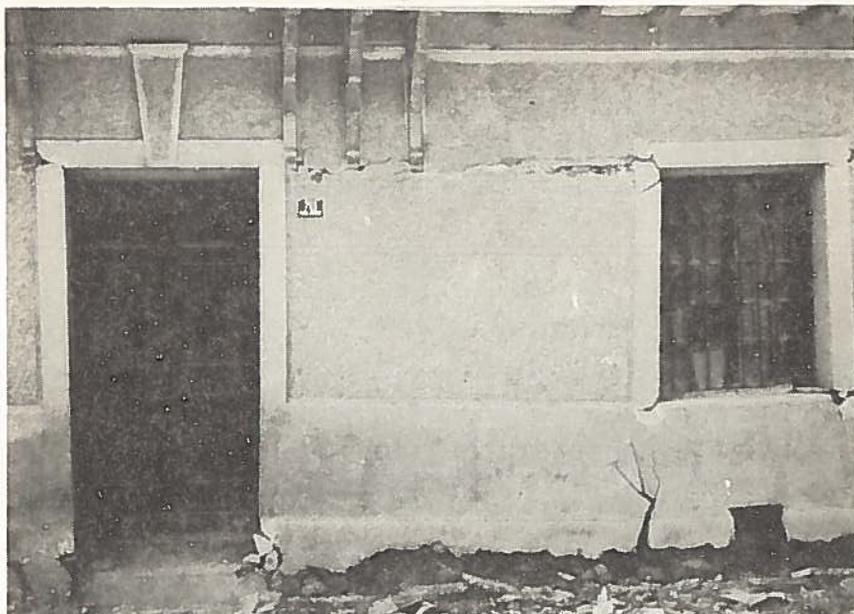


Foto 16. Hijuelas, daños en la edificación Tipo B; obsérvese el desencuadre de ventanas y puertas.



Foto 17. Daños en La Ligua. Edificación Tipo C.



Foto 18. Daños en La Ligua. Calle Ortiz de Rozas, acera Norte. Típico daño en las esquinas. Edificación de adobe grueso, con vigas de madera y techado de fierro galvanizado.

LAMINA XII

Foto 19. Cumbre de la Cuesta de Chincolco. Grieta NS en regolito (30-50 cm de espesor).



Foto 20. Brecha de falla en Cuesta de Chincolco.



Foto 21. Colapso de techos en Nogales (acera W de la calle principal)  
Adobe con envigado de madera.



Foto 22. Daños en Nogales, acera E de la calle principal

