

732.0



**PROYECTO  
GEOTECNICO  
SISMICO  
IREN-OEA**

**sr. Raimond Hamel**

**1966**

PROYECTO GEOTECNICO-SISMICO

(IREN-OEA)



Por: Raymond Hamel  
Fotogeólogo-Consultor OEA

En el curso de este informe, redactado a título de simple información preliminar, nosotros nos contentaremos solamente en esbozar brevemente los principales hechos sobresalientes inherentes a este proyecto, a saber:

- Porqué y como nació.
- Cuales fueron sus mayores objetivos.
- Como se desarrollaron las diferentes fases de los trabajos y sus utilidades.
- Establecer el balance general de lo que pudiera haberse realizado.

Será acompañado de dos estudios en detalle: el uno concerniente a La Serena-Coquimbo y el otro a la ciudad de San Felipe.

Además, dos mapas en síntesis en escala 1:500.000 servirán para fijar las ideas sobre las cuales nos hemos basado.

Por una parte, debemos señalar que nuestros trabajos no están todavía acabados, porque estamos actualmente en la última parte del programa, nosotros no trataremos ciertos puntos, como por ejemplo: la historia sismológica de Chile; las diferentes escalas utilizadas; el origen y la naturaleza de los sismos; la geografía sísmica de la tierra; los sismos chilenos y su localización; las regiones tectónicas del país etc.

Todos estos temas y otros aún serán tratados como conviene en nuestro informe de conjunto y fin de la misión.

INTRODUCCION

En un informe especial de fecha 15 de Julio de 1965 titulado " El interés de la fotografía aérea en el estudio de los sismos devastadores " nosotros sugerimos a los Organismos Internacionales la idea de ejecutar una serie de estudios específicos, teniendo por fin tratar de limitar las pérdidas en vidas humanas así como los desgastes materiales provocados por los violentos sismos que más o menos regularmente, afectan a ciertos países del continente Sud-Americano especialmente Chile.

Estos fuertes temblores, acompañados o no de tsunamis toman a veces el aspecto de verdaderas catástrofes nacionales, cuyas repercusiones sobre la economía del país se hacen sentir duramente.

En el mes de Septiembre del mismo año establecimos, a pedido del Sr. Miguel Ruiz-Tagle, Director Ejecutivo del IREN, un programa que en muchos puntos podrá servir de base a trabajos eventuales dirigidos en este sentido.

Paralelamente a todo esto, los estrechos contactos estaban mantenido con la OEA que se había mostrado interesada en la ejecución de este género de estudios, después de los viajes efectuados anteriormente a Chile por M.M. Drewes y Saint-Amand,

Es así que en el mes de Marzo 1966 se ha dado comienzo al Proyecto Geotécnico-Sísmico IREN-OEA, después de un acuerdo tomado entre el Gobierno Chileno por una parte, y la Organización de Estados Americanos (Cooperación Técnica) de Washington D.C. por otra. Este contrato de un año de duración, debía consagrarse a la Investigación de las Regiones de Peligro Sísmico en relación con las Obras de Ingeniería y la Población de Chile.

Como Fotogeólogo-Consultor contratado por la OEA, yo he estado encargado de dirigir esta misión beneficiando de la estrecha y eficaz colaboración de un equipo de técnicos de IREN donde mi oficina fué instalada, durante algún tiempo también de un grupo de especialistas del Ministerio de Obras Públicas pertenecientes a la Dirección de Planeamientos. En cuanto a los datos sísmológicos, ellos fueron obtenidos, en la mayor parte, gracias a la cortesía del Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Prólogo

Hoy en día las construcciones se extienden con una rapidez sin cesar en aumento, difícil de imaginar hace apenas un cuarto de siglo atrás.

Por cuestión de costos, se construye a menudo, no importa donde y la mayoría de las veces los urbanistas continúan ignorando la ayuda preciosa que podría aportarles el geólogo o el geomorfólogo para saber sobre que tipo de terreno conviene construir o no.

Con mayor razón cuando se trata de una región conocida como sísmica, la lógica requiere que antes de edificar es necesario estudiar al sub-suelo en el cual reposarán sus cimientos.

En muchos casos los daños que sufren los edificios y las obras de arte provienen de una mala ubicación y no de un vicio interno. La energía disipada por un sismo mediano corresponde a muchos millones de caballos de fuerza. El más pequeño desprendimiento de tierra representa un movimiento de masa de muchos millones de toneladas sobre distancias de muchos metros.

Realizando una serie de estudios apropiados y simples nosotros hemos tratado de obtener resultados prácticos. Se trataba en efecto de efectuar en todas las regiones del país reconocidas como sísmicas, un conjunto de observaciones de orden geológico, geomorfológico y estructural. Más particularmente debimos estudiar en detalle, el medio físico donde estaban construidas las ciudades y pueblos de 1.000 y de más de 1.000 habitantes entre Arica al norte y Magallanes al sur.

Dicho de otra manera, debíamos ver si los edificios y obras de ingeniería construidos o proyectados no corran el riesgo de ser destruidos o fuertemente dañados algún día, teniendo en cuenta el riesgo sísmico y la influencia de la tectónica local, por haber sido fundados donde no se debía. Al mismo tiempo aprovecharíamos para determinar cuales eran las zonas impropias para futuras construcciones.

En realidad este programa original demasiado vasto y recargado para lograr ser terminado convenientemente en un solo año fué por la fuerza mayor, fué reducido a proporciones más justas en el mes de Agosto. En esta fecha dos

regiones clasificadas como de prioridad fueron designadas para ser estudiadas en primer lugar:

- La región de COQUIMBO - ACONCAGUA comprendida entre los grados 29 y 33 //S.
- La región de SANTIAGO - CONCEPCION, entre los 33° y 37° //S.

Desgraciadamente, por razones absolutamente independientes de nuestra voluntad, solo la primera región nombrada podrá ser terminada en el plazo prescrito, en el curso del cual, un gran esfuerzo a sido llevado a cabo, como veremos más adelante.

Aunque así sea casi todas las ciudades y los pueblos de Chile estando construidas sobre formaciones cuaternarias, antiguas o recientes (depósitos aluviales recientes y terrazas). Son estos terrenos los que han constituido nuestro principal objetivo. Los elementos de estudio son entre otros:

- Las formaciones superficiales, sean naturales (rocas "in situ", arcillas, arenas, lodos, depósitos de pendientes) o artificiales (terraplenes, escoriales etc.). Las informaciones obtenidas dan una idea precisa del problema de cimientos.
- Las condiciones hidrológicas, la profundidad de la napa freática, las zonas permeables e impermeables, las zonas mal drenadas donde el agua se acumula durante los períodos húmedos, los thalwegs o escurrimientos temporales o estacionales, llanuras inundables (lechos menores, mayores, estacionales etc.).
- La naturaleza de las unidades geomorfológicas sobre las cuales se extendía la región a estudiar: los depósitos de estuarios, las diversas clases de vertientes, las acumulaciones eólicas (dunas, loess) las diferentes napas aluviales, las terrazas.

Los movimientos de reptación del suelo provocan un desplazamiento de masa superficial lento, la solifluxión, los deslizamientos de tierra, y en general todo tipo de movimiento de remoción en masa.

Por otra parte, debíamos considerar la litología, el grado de alteración de las rocas, su fracturación. En caso de rocas sedimentarias observar el rumbo y manto de las capas, etc.

En una palabra, debíamos tratar de asociar los elementos descriptivos, como la naturaleza del suelo, topografía del terreno y los elementos dinámicos mostrando la evolución natural o antrópica. Todo esto permitiendo distinguir las zonas que presenten peligros al producirse algunos fenómenos (inundaciones, inestabilidad de los terrenos) o por consecuencia de ciertas características (naturaleza de los terrenos en relación con las pendientes creando las condiciones favorables a la provocación de movimientos de masas).

#### REPARTICION DEL TIEMPO

Aproximadamente 8 meses han sido necesarios para establecer nuestra vasta documentación, clasificarla y después ejecutar los documentos básicos indispensables para la orientación de nuestros futuros trabajos. Alrededor de 2 meses fueron reservados a las misiones en terreno. Los últimos 2 meses están previstos para la elaboración del informe final y pasar en limpio los diferentes mapas anexos.

## DOCUMENTOS DE BASE

Con el fin de poder fijar ulteriormente nuestros principales objetivos, los documentos esenciales debían ser realizados primero.

1) Un mapa de 1:500.000 el cual comprendería entre los paralelos 29° y 37° de latitud Sur.

- Todos los centros urbanos de 1.000 y de más de 1.000 habitantes. Este trabajo fué llevado a cabo por el Sr. R. Saa, Geógrafo de IREN.

- Todas las obras de ingeniería ya construídas, en construcción o previstas. Ese trabajo minucioso que pide mucha paciencia fué realizado en 2 meses y medios gracias a la colaboración del personal de Obras Públicas.

Teniendo en cuenta la gran variedad de obras de ingeniería, hemos debido fijar ciertas normas o límites de importancia. Es así como finalmente fueron dejados:

- Los Puentes: de carreteras y ferrocarril mayor o igual que de 20 metros de largo, ya fueran de cemento armado, de fierro, de madera o piedra.

- Los Aeródromos: mayor o igual que de 1.000 metros de largo, sea la pista de cemento, asfalto o tierra.

- Las Presas: Cuya altitud es mayor o igual que de 30 metros (represa abovedada, represas de gravedad o diques de tierra)

- Las Fábricas Hidráulicas e Hidroeléctricas

- Los Puertos Comerciales: teniendo o no un dique exterior de protección y un molo de atraque para los barcos.

- Las Escuelas: en las que la superficie construída es mayor o igual que a 1.500 m<sup>2</sup> los principales hospitales, sanatorios, estaciones termales, Iglesias Templos.

- Los Túneles: (camineros, de ferrocarril, de traídas de agua importantes).

- Las Usinas: importantes

- los molinos

- los principales canales de irrigación

- los acueductos

- los oleoductos

- las líneas de alta tensión

Nota: todas las informaciones concernientes a las diversas instalaciones precisadas están archivadas e indicadas, además, en un juego de mapas de escala 1:250.000 que comprende todo Chile.

2) El establecimiento de un mapa de fallas y fracturas también a la escala de 1:500.000 de manera que se pueda superponer uno sobre otro.

Sobre este mapa figuran los epicentros y los focos sísmicos, apareciendo con la ayuda de diferentes símbolos, según su magnitud respectiva (escala de Richter). Hemos aún dibujado allí los diversos sistemas de fallas y fracturas obtenido acerca del estudio detallado de las fotografías aéreas verticales HYCON a escala media de 1:70.000.

Para obtener este resultado hemos debido examinar alrededor de 3.200 fotografías sobre las cuales 1.660 fueron interpretadas. La región cubierta (entre los paralelos 29° y 37° latitud Sur) representando una superficie de 130.000 Km<sup>2</sup>.

Nota: La localización de los epicentros figura en otro juego de mapas a escala 1:250.000 desde Arica a Magallanes.

#### DESARROLLO DE NUESTROS TRABAJOS

La manera como hemos procedido puede resumirse así:

- 1) Constitución de una bibliografía teniendo por tema los temblores (epicentros, magnitudes, intensidades, fecha, daños materiales, muertos etc.)
- 2) Establecimientos de una bibliografía concerniente a las obras de ingeniería etc.
- 3) Ejecución de los mapas base mencionados anteriormente:
  - Población, obras de ingeniería etc.
  - Epicentros y fallas.
- 4) Designación de regiones a estudiar.
- 5) Elección de ciudades y obras a ver cada una de esas regiones (los puntos azules indicados entre los paralelos 33° y 37° latitud Sur, constituirían los sectores de estudios de esta región).
- 6) Por cada sector considerado:
  - Establecimiento de una documentación apropiada.
  - Interpretación fotogeológica preliminar, acerca de las fotografías aéreas generalmente en pequeña escala.
- 7) Estudio de los terrenos correspondientes.
- 8) Construcción de maquetas. Las escalas de los mapas varían entre 1:50.000 y 1:250.000.
- 9) Redacción de los informes técnicos, ejecución de los mapas finales etc.

#### OBSERVACIONES

La acción destructora de las ondas sísmicas no depende solamente del tipo de construcción y de sus cimientos, de la clase de material empleado, pero también y sobre todo de la calidad del sub-suelo sobre el cual ella se encuentra.

Es por esto que sobre el plan práctico, con el fin de dar un valor a nuestras observaciones, hemos tomado en consideración tres factores importantes:

- El sistema de clasificación de los sub-suelos de cimiento (1).
- El grado de consolidación de éstos.
- La profundidad de la napa fréatica.

(1) Entendemos por sub-suelo de cimiento la parte situada entre el Bed-rock y la capa superficial (suelo pedológico).

## EL SISTEMA DE CLASIFICACION DE LOS SUB-SUELOS DE CIMIENTOS

Hemos juzgado oportuno de emplear, agregando sin embargo algunas modificaciones, el sistema utilizado por el Servicio de los Trabajos Públicos de los EE. UU. que cuadra casi perfectamente con nuestros propios objetivos.

Los sub-suelos de cimientos divididos en dos grupos, a saber:

- a) Materiales granulosos pudiendo contener hasta 35% de elementos finos, cuyas características son consideradas entre buenas y excelentes.
- b) Materiales limo-arcilloso conteniendo más de 35% de elementos finos, cuyas características son consideradas como mediocres o malas.

Los sub-suelos pueden ser divididos en 9 grupos. Los grupos A-1 y A-3 contienen materiales granulosos, en tanto que los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 corresponden a materiales limo-arcillosos.

El grupo A-2 contiene materiales situados en la proximidad de la línea limítrofe e indica el predominio de las características de los grupos A-4 a A-7, si se le agrega el número correspondiente.

Ejemplo: A-2-5. El grupo A-8 sirve para designar los sub-suelos compactos muy ricos en materiales orgánicos. Por último el grupo A-9 indica los terraplenes artificiales compuestos de material heterogéneo. En caso de necesidad se puede agregar otro número complementario.

## DIFERENTES TIPOS DE SUB-SUELOS DE CIMIENTOS

Estos son los siguientes:

A-1 mezcla de buena proporción de fragmentos de piedra o grava arena y una matriz de materiales no plásticos o que pueden serlo debilmente (finos). El sub-grupo A-1 incluido, en un grado predominante, de fragmentos de piedra o grava. El sub-grupo A-1-b se compone principalmente de arena gruesa.

A-2 : Comprende una amplia gama de materiales granulosos que son en realidad limítrofes entre A-1 y A-3 y los argilos limosos.

A-3 : Arena fina de playas, sin materiales argilo-limosos o con una proporción ínfima de limo no plástico.

A-4 : Sub-suelos limosos, moderadamente plásticos con 75% o más del tamaño menos de 200.

A-5 : Idéntico a A-4 salvo su más grande elasticidad, dada a una fuerte proporción de materiales micáceo o diatómaceo.

A-6 : Arcilla plástica con 75% o más de 200, con un cambio notable entre los estados secos y húmedos.

A-7 : Idéntico a A-6, pero con un gran límite líquido. (LL)

A-8 : Materiales arcillo-limosos con fuerte proporción de materia orgánica.

A-9 : Terraplenes artificiales.

La clasificación de los sub-suelos de cimientos debe considerar no solamente el grado de consolidación, sino también la profundidad de la napa freática.

## 2) GRADO DE CONSOLIDACION DE LOS SUB-SUELOS

Los sub-suelos están divididos en 5 categorías:

- E : excelente
- B : bueno
- R : regular
- D : deficiente
- M : muy deficiente o malo

## 3) NAPA FREATICA

Aquí se distinguen también 5 categorías:

- e : excelente, con nivel acuifero a más de 3 m. de profundidad
- b : Bueno con nivel acuifero entre 2 - 3 m. de profundidad.
- r : regular, con nivel acuifero entre 1 - 2 m. de profundidad
- d : deficiente, con nivel acuifero entre 0,30 - 1 m. de profundidad.
- m : muy malo, con el nivel acuifero entre 0 - 30 - 1 m. de profundidad.

Ejemplos: A-3 (B,E), quiere decir: arena fina de buena consolidación y con el nivel de la napa fréatica de 3 o más de 3 m. de profundidad.

A-4 (D,M), quiere decir: arcilla plástica de consolidación deficiente y presencia de agua a 0,30 m. de profundidad.

## PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUB-SUELOS

El sistema que hemos adaptado toma en cuenta los diferentes tipos de sub-suelos de cimientos, su grado de consolidación y la profundidad de la napa fréatica. Considerando todos estos elementos, hemos establecidos una especie de clave muy sencilla, permitiendo definir rápidamente, en el plan práctico las propiedades ingenieriles de los diferentes tipos de sub-suelos. Esta clave es la siguiente. En orden hemos indicado los tipos, en absisa, la condición.

<u>CONDICION</u>		<u>TIPOS</u>					
	A-1	A-3 (A-2)	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
Ee	B	B		B-R	R-M	R	
Bb	B	B		B-R	R-M	R-M	
Be	B	B		B-R	R-M	R	
Bb	B	B		B-R	M-R	R-M	
Re	B	R		B-B	M-R	R-M	M
Rb	B	R		R	M	M-R	M
R-r	R	M		M	M	M	M

(continuación)

De	R	M	R-M	M	M	M
Db	R	R-M	R-M	M	M	M
Dr	R	M	M	M	M	M
Dd	M	M	M	M	M	M
Me	R	M-R	M-R	M	M	M
Mb	R	M-R	M	M	M	M
Mr	M	M	M	M	M	M
Md	M	M	M	M	M	M
Mm	M	M	M	M	M	M

Por ejemplo, un terreno aluvial constituido de ripio heterogéneo y de grava, en una matriz areno-limosa a una fórmula que corresponde a A-1 (b-e). Mirando el cuadro de más arriba vemos por simple lectura que su propiedad ingenieril es B.

BALANCE GENERAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

a) Documentos cartográficos básicos:

- 1) Un mapa de reconocimiento de la población urbana, obras de ingeniería etc. (escala 1:500.000) entre los paralelos 29° y 37° latitud Sur.
- 2) Un mapa de los epicentros de fallas y fracturas (escala 1:500.000) entre los paralelos 29° y 37° latitud Sur.

Otros mapas

- 1) Un mapa de la localización de las obras de ingeniería (escala 1:250.000) entre Arica y Magallanes.
- 2) Un mapa de la localización de los epicentros y focos sísmicos (escala 1:250.000) entre Arica y Magallanes.

b) Estudios detallados de terreno

Provincia de Coquimbo

- La Serena- Coquimbo (Mapa a escala 1:25.000).  
Ovalle-Tranque Recoleta (mapa a escala 1:50.000).  
Tranque Cogotí (mapa a escala 1:50.000).  
Illapel (mapa a escala 1:20.000).  
Salamanca (mapa a escala 1:20.000).

Provincia de Aconcagua

La Ligua	(mapa a escala 1:25.000).
Quintero	(mapa a escala 1:25.000).
San Felipe	(mapa a escala 1:25.000).
Los Andes	(mapa a escala 1:25.000).
Putendo	(mapa a escala 1:25.000).
Llay-Llay	(mapa a escala 1:25.000).
La Calera	(mapa a escala 1:25.000).
Quillota	(mapa a escala 1:25.000).

Cada uno de estos estudios será objeto de un informe circunstanciado, que será adjuntado con su mapa, en anexo del informe principal.

Santiago de Chile, 11 de Enero de 1967

Raymond Hamel  
Fotogeólogo Consultor

ANEXOS

- 1) Un mapa a escala 1:500.000 (población y obras de ingeniería del paralelo 29° al 37° latitud Sur.)
- 2) Un mapa a escala 1:500.000 (fallas , fracturas y epicentros del paralelo 29° al 37° latitud Sur.)
- 3) Un informe provisorio en detalle de LA SERENA COQUIMBO con su mapa a escala 1:25.000.
- 4) Un informe provisorio en detalle de SAN FELIPE, con su mapa a escala 1:25.000.

