

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL

TESIS DE GRADO

MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE HUARAZ

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE

LIMA - PERU

1 9 7 3

A MIS PADRES

A MIS MAESTROS

AGRADECIMIENTOS

Me es grato expresar mi agradecimiento al Ing. Julio Kuroiwa, por su asesoramiento y ayuda, y al Ing. Ernesto Deza por su orientación. Asimismo, se agradece la generosa colaboración de la DIVISION DE INGENIERIA GEOLOGICA (D.I.G.) - CRYRZA que contribuyó en las facilidades, materiales y coordinación para el presente trabajo, especialmente a su Jefe Ing. Juan La Cruz, e integrantes: Ings. Anibal Cáceres; Germán Salas Jorge Cárdenas, Gregorio Barra y Zulema de Barra.

P R O L O G O

A los pocos días de ocurrido el sismo del 31 de Mayo de 1970, la U.N.I. comenzó a participar activamente en los estudios de los efectos del terremoto.

En primer lugar a los dos días de ocurrido el sismo, una misión de la U.N.I. recorrió las poblaciones de la Costa y de la Sierra.

A mediados de Julio del mismo año, bajo la coordinación de C.R.Y.R.Z.A. se empezaron los estudios de distribución de daños en edificaciones, con la finalidad de determinar a través del comportamiento de la estructura, la influencia del suelo. Este dato es muy importante en los estudios de microzonificación sísmica.

Posteriormente, las estructuras reparables fueron estudiadas en detalle con la finalidad de preparar proyectos de reparación y reforzamiento, llegando así a elaborarse cerca de 2,000 proyectos.

Los otros estudios necesarios para efectuar la microzonificación sísmica de las ciudades: Sismología y Geología, fueron efectuados respectivamente bajo la dirección de los Ingenieros, Ernesto Deza del Instituto Geofísico del Perú, y el Ing. Hugo Jan del Servicio de Geología y Minería del Ministerio de Energía y Minas, miembros

conjuntamente con el suscrito de la Sub-Comisión Técnica de CRYRZA.

La presente tesis es el fruto del esfuerzo de uno de los miembros del equipo C.R.Y.R.Z.A. U.N.I., que laboró con todo entusiasmo en la zona afectada por cerca de 2 años en los trabajos antes mencionados y trata de colocar en un solo volumen, todas las investigaciones efectuadas en la Ciudad de Huaraz, coordinando los datos y presentándolos en forma tal que tenga aplicación práctica de tal manera que este trabajo sirva como base para dotar a Huaraz de un moderno Reglamento de Diseño Antisísmico especialmente preparado para dicha ciudad.

Ing. Julio Kuroiwa H.

Profesor Principal de Ingeniería

Antisísmica de la U.N.I

Miembro de la Sub-Comisión Técnica

de la C.R.Y.R.Z.A.

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
Resumen	I
CAPITULO I	
<u>INTRODUCCION</u>	1
CAPITULO II	
<u>GENERALIDADES DEL AREA DE HUARAZ</u>	
2.1 Ubicación Geográfica y Acceso	10
2.2 Clima y Vegetación	11
2.3 Hidrografía	12
2.4 Población	14
2.5 Antecedentes Sismológicos	14
2.6 Características del último sismo del 31 de Mayo de 1970.	16
CAPITULO III	
<u>ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOMORFOLOGICOS Y DE SUELOS EN EL AREA DE HUARAZ</u>	
3.1 Introducción	24
3.2 Geología Generalizada de Huaraz y Alrededores	25
3.3 Aspectos Geomorfológicos del Area Urbana	32
3.4 Efectos Sísmicos en el Area urbana	38
3.5 Condiciones Hidrogeológicos del Subsuelo de la Ciudad de Huaraz.	44
3.6 Condiciones de Suelos en la Ciudad de Huaraz	53
3.7 Conclusiones	54

CAPITULO IV

ESTUDIO DEL BASAMENTO ROCOSO: PROSPECCION POR GRAVEDAD

4.1	Introducción	57
4.2	Objeto del Estudio	59
4.3	Presentación del Método de Prospección por Gravedad	60
4.4	Instrumental Utilizado	61
4.5	Trabajo de Campo	62
4.6	Trabajo de Gabinete	64
4.7	Interpretación Cuantitativa	75
4.8	Conclusiones	81

CAPITULO V

OBSERVACIONES DE MICROTREPIDACIONES

5.1	Introducción	83
5.2	Equipo Utilizado y Método de Observación	84
5.3	Clasificación de Suelos	87
5.4	Conclusiones	93

CAPITULO VI

EVALUACION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES

6.1	Introducción	95
6.2	Metodología Seguida	96
6.3	Causa de los daños para cada Tipo de Edificación.	98

	<u>Pág</u>
6.4 Daños en Estructuras Importantes de la Localidad	104
6.5 Conclusiones	114
CAPITULO VII	
<u>COEFICIENTE SISMICO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS</u>	
7.1 Introducción	119
7.2 Filosofía del Diseño	121
7.3 Conceptos Generales del Diseño	122
7.4 Diseño Elástico y Diseño Plástico	124
7.5 Principios Generales de Diseño, Reglamentos y Especificaciones.	125
7.6 Factores que se tienen en cuenta para el Coeficiente Sísmico.	126
7.7 Influencia del Suelo en la Respuesta Dinámica de una Estructura frente a un Evento Sísmico.	128
7.8 Conclusiones	132
CAPITULO VIII	
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	135
BIBLIOGRAFIA	150
ANEXOS	

RESUMEN

El presente trabajo toca un tema de mucha importancia para la ciudad de Huaraz, que es la de microzonificar su área urbana mediante el aporte de los estudios realizados en la Zonas cuyas investigaciones fueron efectuados por la Sub-Comisión Técnica de la CRYRZA, y que se presentan en el presente volumen.

La microzonificación implica dividir un área en otras menores con riesgos sísmicos diferentes una de otra, pero manteniéndose igual dentro de cada una de ellas. Así mismo se tendrá muy en cuenta esta diferencia, para el coeficiente sísmico a usarse en el diseño de estructuras.

Se ha creído conveniente estudiar sísmicamente la ciudad de Huaraz, por estar ubicado en el Perú, en una zona sísmica denominada "Cinturón Circumpacífico" que es una de las que tienen mayor actividad en la tierra, pero más que nada por la necesidad de reconstruir sobre bases técnicas, científicas esta ciudad destruida por el sismo último, durante el cual quedaron totalmente arrasados más de 100 manzanas del centro donde perecieron más de 10,000 personas.

Dentro de los estudios realizados en la Ciudad de Huaraz se puede mencionar los siguientes: Geología ,



Geomorfología, Estratigrafía del Suelo, Hidrogeología, Efectos Sísmicos, Gravimetría, Microtrepidaciones y de Evaluación de Daños en Edificaciones. Cada uno de éstos describen con la debida importancia sus características afines y llegan a dar un mejor conocimiento del comportamiento de estructuras cimentadas en un determinado suelo frente a un evento sísmico.

De los estudios referentes a Geología y Geomorfología conducen a explicar que la Ciudad de Huaraz está integramente rodeada por roca volcánica a la que se considera el basamento, y que las unidades geomórficas que conforman el relleno a dicho basamento son las siguientes: terrazas fluviales pertenecientes al Río Santa ubicadas al Oeste de la Ciudad a lo largo de la dirección Sur- Norte; depósitos de arcilla y arenas saturadas en el casco urbano, con el consiguiente peligro de asentamientos; taludes empinados recubiertos de escombros de pendiente y depósitos fluvio-glaciares localizados en la parte Este de la Zona Urbana; terreno aluvional para el barrio de Centenario, especialmente del ocurrido el 31 de Diciembre de 1941.

Del estudio de Gravimetría se han obtenido las profundidades del basamento, las cuales oscilan: 0 - 80 m para el Este de la Zona Urbana (Barrios de La Soledad

III

y Pedregal); 40 - 120 m. para el Casco Urbano y parte de los barrios aledaños; 20 - 100 m. para el Barrio de Centenario.

Para el estudio Dinámico de los Suelos se ha hecho uso de las investigaciones de Microtrepidaciones, las cuales dan los periodos predominantes de los suelos como características determinantes en la clasificación de los suelos. Así para suelos buenos dan periodos bajos pertenecientes a Centenario y Nicrupampa; suelos de calidad intermedia con periodos también intermedios pertenecientes a la Zona de Pedregal y parte Este de La Soledad, y finalmente suelos de baja calidad con periodos altos pertenecientes al Casco Urbano.

En lo referente al estudio de Evaluación de Daños, se ha cumplido la interrelación que existe entre el comportamiento dinámico del suelo y el mayor o menor daño que pueda provocarse en una estructura cimentada en aquél. Así pa"ra los barrios de Patay, Centenario .Y Ni-crup pa hubo 20 -.25 % de daños, en cambio para los barrios de Pedregal y parte de La Soledad hubo un 60-80% de daños, y para los barrios de San Francisco, Belén y Huarupampa el porcentaje de Daños fue de 50 - 95%.

En base a todos éstos estudios han resultado 3 zonas con diferente riesgo sísmico para el área urbana de

IV

de Huaraz, cuyos valores de los coeficientes n_z ¹¹ FACTOR CONDICION SUELO para el diseño de estructuras varían desde (1.1) para suelos de buena calidad (comprenden los barrios de Centenario y parte Oeste de Nicrupampa); (1.3) para suelos de calidad intermedia (comprenden los barrios del Pedregal y partes de San Francisco y Belén), y (1.5) para suelos de baja calidad (comprenden el Casco Uroano y partes de los barrios La Soledad, Huarupampa y Belén).

Asimismo se recomienda NO CONSTRUIR en la Zona Aluviónica, por ser ésta una área con peligro eminente de Aluviones y Avalanchas, tal como ocurrió con el Aluvión del 13 de Diciembre de 1941.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

En todo proyecto de edificaciones y debido a la permanente actividad sísmica en que vive nuestro País deberá tenerse en cuenta para el diseño estructural respectivo los efectos de la Fuerza Sísmica en adición a las cargas permanentes y sobrecarga.

El coeficiente sísmico de diseño es determinado principalmente por tres factores: (1) Factor regional de sismicidad, (2) Uso y características estructurales de la edificación, y (3) Factor Suelo, aparte de las características dinámicas de la estructura y de la excitación sísmica y las propiedades de los materiales.

Los dos primeros factores ya han sido estudiados con la debida importancia (Ver Bibliografía N°6). El 1ro.

tiene en cuenta la actividad sísmica regional: El Perú es es tá dividido en tres regiones. El 2do. factor que es de mo dificación al coeficiente sísmico tiene en cuenta la res- puesta de una estructura en base a su capacidad de absor- ción de energía frente a un evento sísmico.

En cambio el 3er. factor se refiere a las condi ciones del terreno, y que por razones de falta de investi gación adecuada, sobre todo en los principales centros ur banos del País, es que aun no se le incluye en las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico. La experiencia demuestra que durante sismos destructivos los daños que ocurren en las estructuras para una área limitada tiene muchas irre- gularidades locales, y es que la fuerza sísmica actuante en una estructura es afectada en gran extensión por la t pografía y las condiciones del subsuelo en el sitio. Asi en suelos blandos, con la napa freática muy alta, con p eríodos predominantes largos la intensidad sísmica se in- crementa causando claramente más daño que en zonas aleda- ñas, tal como ocurrió en el centro de Huaraz. En cambio los daños fueron menores en construcciones realizadas so bre material aluviónico seco, compacto y con pendiente su ve, tal como ocurrió con el barrio Centenario de Huaraz.

Con los conocimientos actuales resulta imposible predecir con exactitud los terremotos, pero si se pueden

atenuar sus efectos circunscribiendo los daños producidos por ellos.

Un medio práctico para lograr éste fin y en el caso específico de una ciudad, es la microzonificación sísmica, cuyo objetivo es la división de una área en otras zonas de características sísmicas diferentes una de otra y semejantes...dentro de cada una de ellas .

Considerando lo expuesto y teniendo en cuenta así mismo las concentraciones humanas en el área urbana de Huaraz después del último desastre Mayo de 1970, y por la economía que significa tener presente el riesgo sísmico , se ha visto en la necesidad impostergable de microzonificar la ciudad de acuerdo a la calidad del suelo, que es un factor determinante en la distribución de daños al producirse un sismo.

En el presente trabajo se ha delimitado 3 zonas cuyos riesgos sísmicos diferentes se ven identificados por el Factor Condición Suelo Z^a , contándose con la ayuda de las investigaciones realizadas en Huaraz y con técnicas de Países dedicados a éste problema cuyos recursos son muy escasos. Siendo posible por lo tanto tal delimitación relacionada la amplificación dinámica de suelos (Estudio de Microtrépidaciones), la respuesta de las estructuras ante una excitación sísmica (Estudio de Evaluación de Daños en

Edificaciones) y las características de Geología y Topografía en el área de estudio.

Las investigaciones realizadas y los datos obtenidos por la sub-comisión Técnica de C.R.Y.R.Z.A., fueron gentilmente proporcionados por la División de Ingeniería Geológica CRYRZA (Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona afectada por el terremoto del 31 de Mayo de 1970). Y son basados en los principios mencionados arriba.

A) Investigación Geológica.-

El objetivo que se persigue es delimitar las formaciones rocosas, los afloramientos de Roca Volcánica en la Ciudad, que es sobre la cual descansa el Área Urbana. El estudio se amplió en una área de 110 Km², así mismo se muestra el tipo de material cuaternario que suprayace al volcánico de la ciudad de Huaraz y alrededores para tener una mejor visión panorámica.

B) Investigación Geomorfológica.-

Esto es para conocer la constitución del suelo, además de explicar que el proceso de erosión, transporte y acumulación ocurridos de manera particular en la Cordillera Blanca, combinada con la acción modeladora de los Ríos Santa y Quilcay, han conferido a la ciudad de Huaraz una geomorfología característica.

C) Investigación de Efectos Sísmicos.-

Aquí se hace una descripción de los efectos sísmicos producidos por el terremoto de Mayo de 1970, que se extendió en todo el Callejón de Huaylas, especialmente en el Area de Huaraz, cuyos procesos de la geodinámica externa hacen posible descubrir los efectos inmediatos del sísmo, tales como agrietamientos, abovedamientos y asentamientos.

D) Investigación s Hidrogeológicas.-

En ésta parte del estudio se tiene en cuenta lo siguiente:

- La presencia y características de la napa freática.
- Y el origen y sentido de desplazamiento de las aguas subterráneas.

Para lo cual se necesitó de un inventario general de los afloramientos de agua en la Ciudad y el control de 24 calicatas realizadas en diferentes puntos de la Ciudad con la finalidad de conocer el tipo de material del acuífero y la profundidad del nivel freático.

E) Condiciones de Suelos

En base a 24 calicatas han sido posible conocer las variaciones litológicas y estructurales del suelo, cuya composición es heterogénea, al mismo tiempo que en la formación y evaluación de los mismos han habido procesos combinados,,

F) Investigación: del Basamento Rocoso.-

Se hizo con la finalidad de conocer las profundidades del basamento rocoso y con esto la potencia del material cuaternario.

Se utilizó el método geofísico: "Prospección por Gravedad", que asocia las variaciones de la atracción gravitatoria del suelo a cambios de la densidad próximos a la superficie.

Este estudio constó:

- Un procedimiento de campo a base de 230 mediciones (en un mes) en un área de 2.0 km. x 3.6 km.
- Gabinete, con sus correcciones correspondientes.
- Y de la interpretación cuantitativa, que toma como referencia un modelo bidimensional apro-

ximado, cuya finalidad es obtener la forma y profundidad aproximada del basamento.

G) Inv.estigaci ñ Dinámica del Suelo.-

Se hizo tal investigación mediante las observaciones de microtrepidaciones, es decir se midieron en diferentes puntos de la ciudad la vibración del suelo que le correspondía.

Y es que los diferentes modos de vibración hacen posible conocer el suelo, su naturaleza y sus condiciones de yacencia.

Este estudio constó:

- Campo: se hicieron 15 observaciones repartidos en toda la ciudad durante la noche y por la madrugada para evitar interferencias.
- El trabajo de gabinete se hizo trazando una línea de base a lo largo y por el centro del tren de ondas. Y el número de veces que en el intervalo de un segundo, la onda cortaba dichas líneas se obtenía el número de ciclos en segundos y de ahí el período medio de vibración.

H) Evaluación de Daños en Edificaciones.-

Este estudio fué realizado con la finalidad de averiguar la respuesta de una estructura en diferentes lugares de la Ciudad ante efectos sísmicos.

Se ayudaron mediante unos formularios elaborados especialmente, donde constaba lo siguiente:

- Datos de características de la edificación; or . estudiar, su estructura y cimentación.
- Resumen de daños, sus causas.
- Características del suelo, su nivel freático.

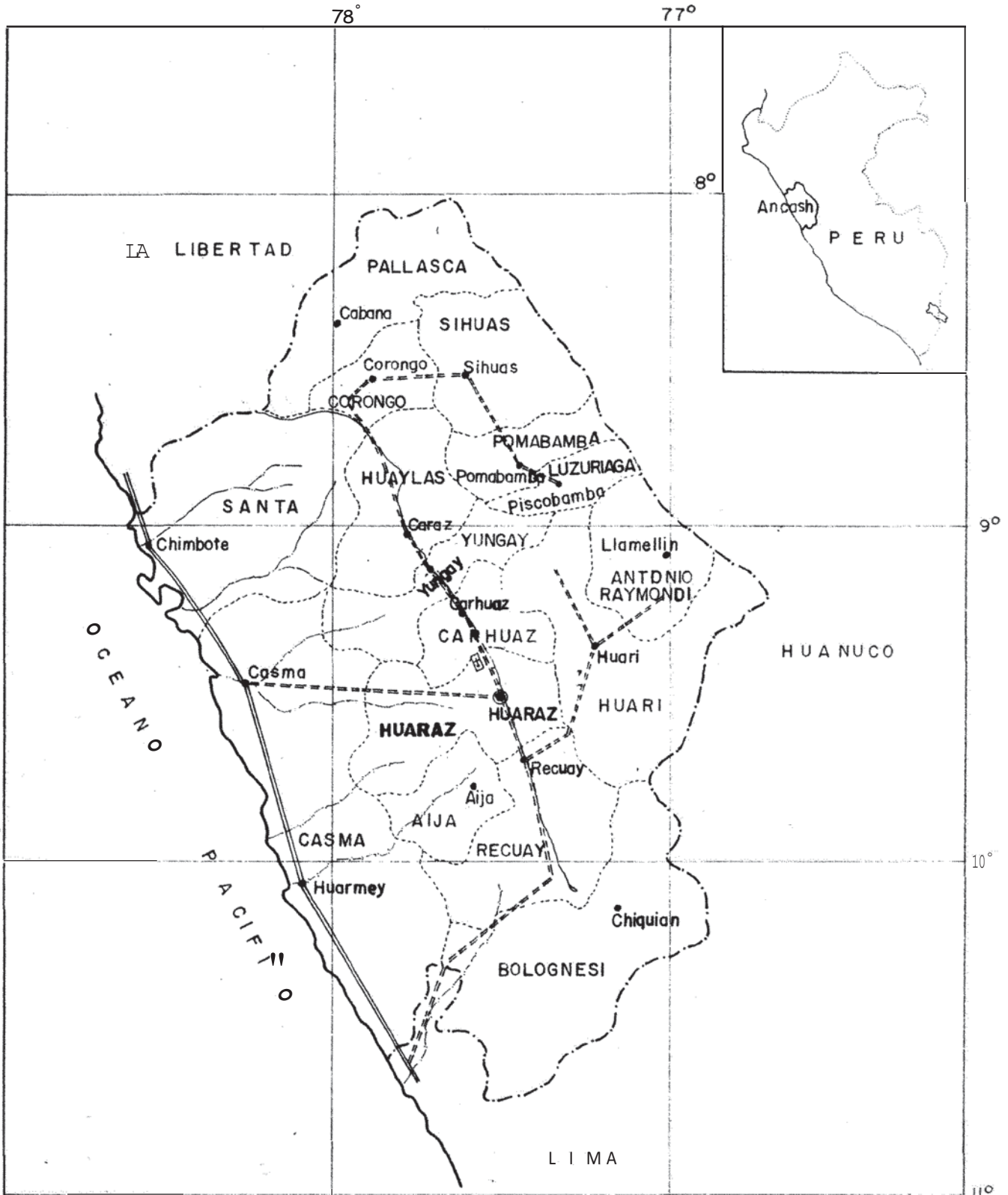
Las encuestas sumaron 1,526 edificaciones, las cuales se procesaron en una computadora I.B.M. 1130, cuyas conclusiones a que se llegaron se menciona porcentaje en promedio de daños sea cualquiera su tipo constructivo, y el porcentaje de construcciones que han colapsado ó que hacen impráctico su reparación.

De ésta manera se ha llegado a elaborar un plano delimitando tres zonas con diferente riesgo sísmico, cada una con diferente coeficiente sísmico "Factor Suelo" para el diseño de estructuras.

A manera de referencia en el capítulo VII se ha creído conveniente expone la existencia de tres métodos

utilizables en la microzonificación sísmica de un lugar de terminado. Es así que es posible determinar la amplificación del movimiento sísmico por el estrato superficial, las características desfavorables de la relación Suelo-Estructura, y el provecho que resulta de la disipación de la energía vibratoria que en la estructura pueda alcanzarse.

En el último capítulo se dan las conclusiones y recomendaciones, haciendo un resumen de las utilidades prácticas que el presente trabajo pueda servir para la ciudad de Huaraz.



LEYENDA

- f) Capital de Departamento
- || || Provincia
- Limete Departamental
- - - " Provincial
- Rios
- == Carretero Panamericana
- ... " de Penetración
- fE] Campo de Aterrizaje

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE
TESIS DE GRADO

**UBICACION GENERALIZADA
 DE HUARAZ**

PLANO N°
1

OPTO. : ANCASH
 PROV. : HUARAZ

ESC. 1:2'000,000
 FECHA NOV. 72

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1 UBICACION GEOGRAFICA Y ACCESO

El área de Huaraz está situado en el flanco occidental de la Cordillera Blanca y en la margen derecha del Río Santa sobre la cota 3,050 m •s.n.m. y comprendida en las Coordenadas Geográficas: Latitud Sur 9° 30' y Longitud Oeste 77° 33'. Huaraz es una provincia capital del Departamento de Ancash, localizado en el eje del Callejón de Huaylas. (Ver Plano N 1).

La Localidad de Huaraz es accesible por las siguientes rutas:

1a Lima-Pativilca (vía terrestre), partiendo de Lima se va por la carretera Panamericana Norte hasta el Km. 230 del desvío Huaraz (tramo asfaltado); Pativilca-Huaraz, se toma el desvío de Pativilca con dirección a Huaraz

por la quebrada Fortaleza hasta la altura de la Laguna Conococha a 4,080 m. s.n.m., de ésta se atraviesa por el Callejón de Huaylas, hasta la Ciudad de Huaraz (el tramo en sus 180 kms. es afirmado).

El tiempo que se emplea en llegar de Lima a Huaraz es de 9 horas en auto.

2a Lima-Casma-Huaraz (vía terrestre), El primer tramo se realiza por la Panamericana Norte hasta el km. 360, para luego proseguir el segundo tramo que en sus 200 km. nos conduce finalmente a Huaraz.

3a Lima-Huaraz (vía aérea), éste tercer medio de acceso es posible mediante el itinerario SATCO, el cual emplea 55 minutos en llegar al Aeropuerto de Anta, ubicado a 30 kms. al Norte de Huaraz.

2.2 CLIMA Y VEGETACION

Como en toda la región andina el clima en el área de Huaraz y alrededores se caracteriza por una estación de fuertes lluvias en los meses de Noviembre a Marzo y una época de sequía durante el resto del año, con lluvias y nevadas esporádicas en la Cordillera Blanca. Las precipitaciones varían de acuerdo a la altura. En el valle de Huaraz: es templado a 3,100 m.s.n.m. y, encima de los 3,500 m.s.n.m. es frígido.

La vegetación natural de la zona varía según el clima, la topografía y la elevación del terreno. Encima del eje de los 3,500 mt:s. existe una vegetación muy reducida de gramíneas o pastizales y hierbas. En los niveles inferiores 3,500 y 3,200 mts. aparecen aisladamente unacubierta de matorrales y arbustos fácilmente destruibles por la erosión. Y por debajo de los 3,200 mts, los arbustos son abundantes de 3 a 4 mts. de altura, ésta misma vegetación se extiende a lo largo del Río Santa.

2.3 HIDROGRAFIA

Todas las aguas de la zona de Huaraz drenan al sistema hidrográfico del Río Santa. Los ríos y riachuelos son de régimen permanente y torrencioso durante las precipitaciones fluviales y en tiempo de estiaje se reducen al mínimo, con excepción del Río Santa y Río Quilcay.

El Río Santa (de agua permanente) es el principal colector del drenaje de la región. Nace en la Laguna de Conococha (4,080 m.s.n.m.) atraviesa a lo largo del Callejón de Huaylas en las diferentes formaciones rocosas; tiene una dirección de S.O.- N.W.; en su recorrido recibe los diferentes tributarios como el río Quilcay y otros ríos menores, para desembocar al Océano Pacífico. Este río tiene una longitud de 294 kms.

El Río Quilcay, es el principal tributario del Río Santa, que disecta a la ciudad de Huaraz.. Está formado del drenaje de las tres quebradas:

- Cojup.
- Quilcayhuanca.
- Shallap.

La Quebrada Cojup nace del glaciar del mismo nombre, de cota 4,550 m. baja casi verticalmente hasta desaguar al río Quilcay en la cota 3,550 m. La ruptura de la Laguna Cojup, el 13 de Diciembre de 1941 fue el principal causante del aluvión de Huaraz.

La quebrada de Quilcayhuanca, nace de la Laguna Cuchillacocha de los 4,600 m.s.n.m. y drena al río Quilcay.

La quebrada Shallap nace de la laguna del mismo nombre de 4,270 m.s.n.m. para drenar sus aguas al río Quilcay.

El Río Tajamar el llamado río es un torrente de escaso caudal. En períodos lluviosos carga sedimentos heterogéneos que deposita en forma rápida produciéndose los efectos de descarga torrencial en el área urbana de Huaraz. Históricamente éste río, ha repetido muchas veces éstos ciclos torrenciales lo que puede probarse por los depósitos existentes. Empíricamente se ha tratado encauzar éste río pero sin consecuencias favorables; debido a las obras muy deficientes (falta de impermeabilidad total).

El Río Seco es otro torrente, de mayor alcance, que tiene períodos decrecientes mas notables que el anterior, debido a que su cuenca de recepción es mayor y hay facilidad para la carga de sólidos. Para los efectos de influencia en los procesos geodinámicos de Huaraz, éste río ha sido estudiado con el objeto de diseñar en él, defensas y obras de corrección, a fin de evitar posibles inundaciones ó destrucción de riberas que puedan provocar alarma en los pobladores de Huaraz.

2.4 POBLACION'

Según datos que obtuvo la oficina Regional de Desarrollo del Norte (O.R.D.E.N.) mediante un Censo el año 1970, la población total del distrito de Huaraz antes del sismo era de 68,554 habitantes, en cambio el área urbana contaba con 27,689 habitantes, es decir representaba el 40 % del total del distrito.

Para el año de 1972, la Oficina Nacional de Estadísticas y Censos (O.N.E.C.), realizó un Censo que dió un estimado para el distrito de Huaraz de 56,829 habitantes de los cuales para el área urbana es de 29,719 habitantes, es decir el 55 % del total.

2.5 ANTECEDENTES SISMOLOGICOS

Resulta una tarea acuciosa, el recopilar de fuentes dignas de crédito, que nos hablen de los movimientos

s: s: r: i. c. m. bidos en el Perú, sobre todo los que correspo!!_ den a las épocas Pre-incaicas e Incaicas, é inclusive a la época Colonial.

Se presenta a continuación un cuadro que nos p. i. e de dar una idea de las catástrofes ocurridas en la zona del Callejón de Huaylas.

RELACION DE LAS CATASTROFES OCURRIDAS EN EL CALLEJON DE HUAYLAS

<u>FECHA</u>	<u>LUGAR Y TIPO DE CATASTROFE</u>
1578	Prov. Santa. Destrucción de los puebl: >s del. s. t. a.
14 Feb. 1619	Trujillo-Santa. Terremoto.
6 Ene. 1725	Pueblo de Ancash Se desplomó Cerro Pan de Azúcar. Aluvión.
1746	Huaylas. Terremoto. Se produjeron agrietamientos en los cerros del lugar.
20 Mar. 1747	Corongo. Inundación, destrucción del pue!!_ te de acceso.
22 Mar 1747	Topo-Topo (Santa) Terremoto, agrietamiento considerable en Cerro Julcán.
3 Ene. 1791	Pueblo de Ancash (Yungay) Aluvión, desapareció todo el pueblo.
11 May. 1905	Santa. Chimbote - Carhuaz, Casma. Se produjo un temblor fuerte a las 9.37 p.m.
11+ Mar • 1932	Quebrada de Pacllón (Bolognesi) Alud, de borde de la Laguna Soltera Hanca Kocho.

- 1939 Conchucos. Aluvi6n, murieron 4,000 per-
sonas.
- 13 Dic. 1941 Quebrad Quilcayhuan'ca (Huaraz) Aluvi6n,
desapareció la tercera parte de la ciu-
dad de Huaraz ..
- 17 Ene. 1945 Quebrada del río Masma (Huari) Aluvi6n,
desborde de la Laguna Aullinga; desapar-
ció gran parte del pueblo de Masma.
- 20 Oct. 1950 Quebrada de los Cedros. Aluvi6n, de las
Lagunas Rajucolcha.
- 10 Ene. 1952 Ranrahirca 6.10 p.m. Se produjo un alu-
vi6n por desprendimiento del Huascarán,
5,000 personas perecieron.
- 31 Hay. 1970 Departamentos de Ancash, parte de Lima,
(3.23 p.m.) La Libertad, Terremoto y Aluvi6n, desapa-
reció el pueblo de Yungay, destrucci6n de
Huaraz, Chimbote y muchas otras poblaci2_
nes, 70,000 muertos.

2.6 CARACTERISTICAS DEL ULTIMO. SISMO DEL 31 DE MAYO DE :1970

El 31 de Mayo de 1970 ocurri6 en la zona cent:ral
Norte del Perú, un violento sismo que afect6 íntegramente
al Departamento de Ancash y parte de los de Lima y La Li-
bet>tad.

SISMICIDAD

El terremoto fue de magnitud 7.7 en la Escala de Richter: se produjo a las 20^h 23^m 28.7^s G.M.T. (3.23 p.m. hora local), frente a la costa central Norte del Perú. La intensidad máxima fue de 8 en Chimbote y Casma, y de igual intensidad en el centro de Huaraz, sacudiendo violentamente más de 80,000 Km² de nuestro territorio y causó la muerte de 70,000 personas y provocó pérdidas económicas de \pm alrededor de S/. 20,000'000,000.

EPICENTRO

Los parámetros epicentrales del terremoto del valle del Santa de 1970 fueron:

Latitud : 9° 18' S

Longitud : 78.83° W

Profundidad de foco: 52 kms.

MECANISMO DEL TERREMOTO

El estudio preliminar demuestra que el sismo principal fue registrado como dilatación en todas las estaciones situadas en el lado continental hasta una distancia de 45°.

El movimiento inicial de la fase P fue pequeño, correspondiente a una magnitud (m) aparente de 5 1/2 a 6. La fase siguiente fue registrada con gran amplitud y su

polaridad estuvo invertida, con respecto al movimiento inicial. La demora de ésta fase varió entre 3 seg. (Huancayo, La Paz) hasta 10 seg. (Bogotá, Trinidad). Se registró especialmente en los instrumentos de período largo.

Después de considerar cuidadosamente la posibilidad de un sismo múltiple (el registro de Bogotá aparentemente da tres llegadas sucesivas a los 3, 7 y 10 seg.), se decidió finalmente que la fase de gran amplitud registrada en los instrumentos de largo período, corresponda a la fase p^p , reflejada en la superficie terrestre cerca del epicentro.

La figura (1) representa el mecanismo postulado para éste terremoto. Su causa es el movimiento de la placa oceánica, hacia y debajo del continente a un ángulo moderado. Esto concuerda con la dilatación inicial observada en el lado continental. La inversión de fase de p^p se debe al hecho de originarse en el cuadrante de compresión.

El intervalo p^p -P observado corresponde a una profundidad de foco estimada en 20 km.

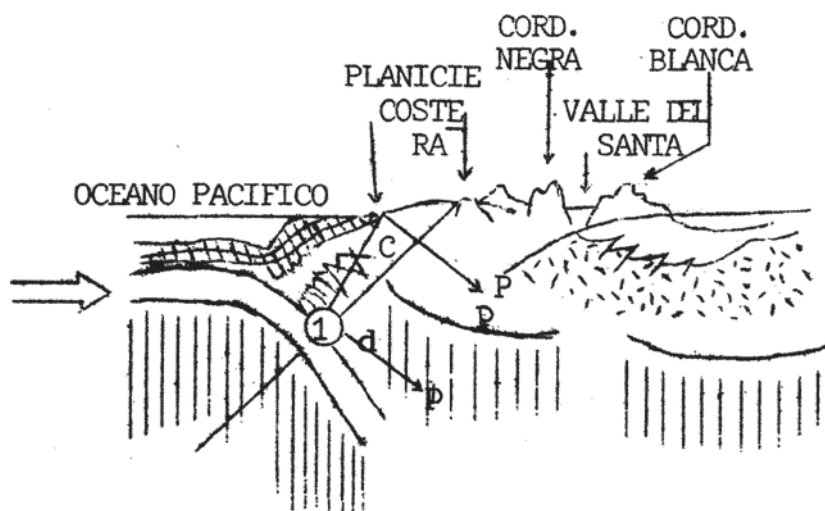


Fig. 1 Sección esquemática E-W pasando por el epicentro,
adaptado del modelo estructural de Dewey y Bird
(1970)

INTENSIDAD

Según cálculos efectuados, el sismo del 31 de Mayo de acuerdo a su magnitud y profundidad focal tuvo en su epicentro una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificada (M.M.). En Chimbote la intensidad fue VII M.M., en Trujillo VII M.M. En Chiclayo VI M.M. En Piura V M.M. etc. En Huaraz debido a la distancia epicentral la intensidad que le correspondería sería VII M.M., sin embargo en el centro de Huaraz alcanzó grado VIII M.M. debido a la amplificación causada por el suelo.

EFFECTOS SECUNDARIOS: EL ALUVION DE RANRAHIRCA.

Un aluvión de barro bajó por la quebrada de Ranrahirca con gran velocidad, cubriendo las poblaciones de Yungay y Ranrahirca, junto a la confluencia con el río Santa.

Según testigo presencial (Kiichi Takahasi, andinista Japonés) se desprendió un borde de hielo de dimensiones 20x30x50 mts. de la orilla superior de un precipicio que se encuentra a unos 700 mts. al poniente de la cumbre. Esta capa de hielo cayó libremente unos 1,000 mts. precipitándose por sobre el glaciar 511 iniciándose así la avalancha.

Cuando el río de barro llegó al valle del Santa había alcanzado una velocidad tal que rebalsó sobre la lomague separa la terraza de Yungay de la quebrada de Ranrahirca, lo cual demuestra que la avalancha que destruyó Yungay fue un rebalse dinámico que rebalsó el vertedero natural que muestra la figura (2).

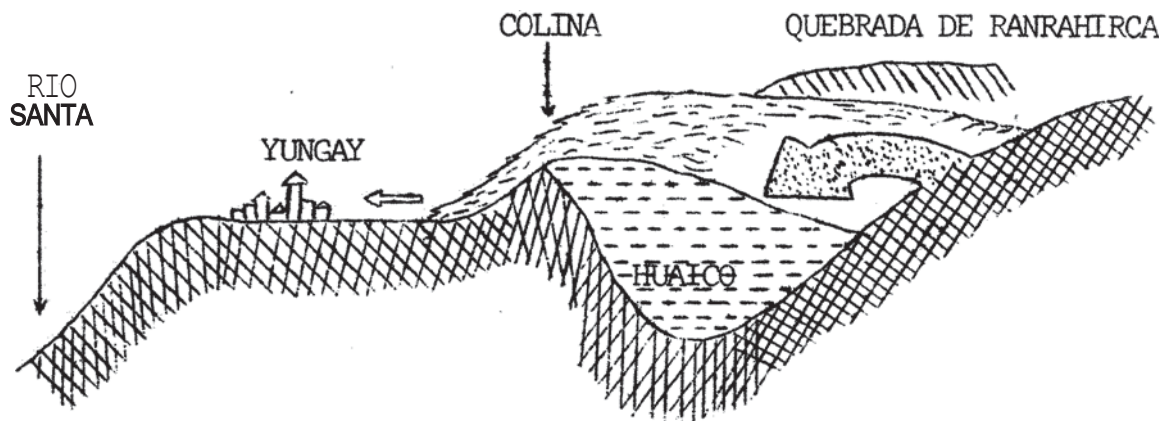


Fig. (2) Rebalse Dinámico del Huayco de lodo que causó la destrucción de Yungay.

Después de sepultar Yungay y Ranrahircá, el aluvi^o vióⁿ desembocó en el río Santa, se precipitó valle bajo cubriendo ambas orillas hasta una altura de más de 50 mts. sobre el nivel del río.

Para entonces, la velocidad del barro había disminuido al punto de que algunos grandes árboles en la orilla permanecieron en pie. La avalancha siguió bajando por lo menos unos 25 km. río abajo pasando la ciudad de Caraz hasta que finalmente pudo ser contenida en el cauce normal del río.

La energía de la avalancha fue tan elevada que bastó para flotar peñascos de cientos de toneladas de peso por sobre la loma de Yungay hasta el centro de la ciudad.

EFFECTOS SECUNDARIOS: ONDAS GRAVITACIONALES.

La posibilidad teórica de ondas gravitacionales en sedimentos no consolidados ha sido demostrada por Gilbert (1968). A éstos efectos se ha atribuido la observación de ondas visibles en los grandes terremotos (Lomnitz 1970). Parece probable que muchos daños de ingeniería en las cuencas sedimentarias puedan atribuirse a la excitación de ondas gravitacionales en la cuenca (Van Dorn **1969**).

A los efectos superficiales de alta deformación causados por ondas gravitacionales, puedan atribuirse los agrietamientos y deslizamientos del terreno como también la eyección de aguas subterráneas en las cuencas sedimentarias de Chimbote y del Valle del Santr. Es probable que tales ondas provocaron las fallas por torsión, en edificios alargados tales como la escuela César Vallejo en Casma y otros edificios como escuelas y hospitales.

En la región costera, los materiales de construcción quebradizos como el adobe y el bloque de cemento demostraron ser especialmente sensibles a deformaciones del terreno de gran amplitud y de pequeña longitud de on-

da;. La destrucción casi total de edificios en ciertas zonas lineales localizadas de una cuenca sedimentaria puede atribuirse a los nodos y vientres que puedan producirse por la interacción de diferentes modos de vibración característica en la cuenca.

Tales efectos suelen atribuirse a condiciones especiales del subsuelo aunque la evidencia no es siempre convincente.

El estudio de las vibraciones características de las cuencas sedimentarias pueden enfocarse simultáneamente de un punto de vista teórico y experimental. Esto parece representar el campo más promisorio de investigación para comprender las causas de los daños sísmicos en sedimentos como los que se observan en la cuenca de Chimbote y en el valle del río Santa.

CAPITULO III

ESTUDIOS GEOLOGICOS, GEOMORFOLOGICOS Y DE SUELOS EN EL AREA DE HUARAZ

3.1 INTRODUCCION.

El presente capítulo, es la recopilación de estudios realizados en Huaraz: Geológicos, de Geomorfología efectos Sísmicos, Condiciones Hidrogeológicas y de las Características de Suelos. Trabajo que han sido laborados por los Ings Hugo Jaen, Vidal Taype, Manuel Gonzales y Guillermo Perez, en coordinación Técnica con CRYRZA (COMISION DE RECONSTRUCCION Y REHABILITACION DE LA ZONA ALCANTADA POR EL TERREMOTO DEL 31 DE.M.AYO DE 1970), dentro del Plan de Trabajo de reconstrucción y rehabilitación del área de Huaraz,

El objeto del estudio de la zona antes mencionada fue verificar las condiciones geológicas, geomorfo-

lógicas, los agrietamientos, los hundimientos, abovedamientos, asentamientos, por los efectos sísmicos. Con respecto a las condiciones hidrogeológicas se ha visto las características de la napa freática, el origen y sentido de las aguas subterráneas etc. Para las condiciones de suelos se hicieron 24 calicatas en diferentes puntos de la ciudad, con la finalidad de conocer la estratificación del suelo lo que nos da las características físicas del suelo.

Los trabajos de campo se realizaron durante dos meses de Noviembre y Diciembre de 1970.

3.2. GEOLOGIA GENERALIZADA DE HUARAZ Y ALREDEDORES

La Geología ha sido cartografiada en un área de 110 Km² a la escala 1/50,000; en ella se ha delimitado las formaciones rocosas desde el Mesozoico Superior (roca sedimentaria) hasta el Cenozoico Terciario Inferior (Roca Volcánica). Igual sucede con el material cuaternario que subyace al volcánico, pues la ciudad de Huaraz reposa sobre potentes depósitos-fluvio aluvionales y de morrenas glaciares (todo esto, en detalle se menciona en el estudio de Geomorfología del Área de Huaraz)

A continuación describiremos las formaciones rocosas y los depósitos cuaternarios. (Ver Planos N° 2 y N° 3)

3.2.1 Rocas Sedimentarias

1.- Rocas de la Formación Chimú.-

Consisten de cuarcitas, areniscas y lutitas con mantos de carbón y antracitas. Tienen un espesor de 150 a 400 ~~mts.~~

Están ubicadas al N.E. de Huaz en la parte alta de los baños de Monterrey.

2.- Rocas de la Formación Santa.-

Están representados por calizas y lutitas calcáreas de 100 a 350 mts. que sobreyacen a la formación Carhuaz.

En general ha sido mapeado en conjunto con la formación Carhuaz por motivo de su grosor restringido y por su litología que es muchas veces similar a ésta última. Las lutitas son de color gris oscuro con módulos calcáreas y algunas capas de caliza arenosa. Tanto la lutita como la caliza son generalmente ferruginosas, y dan tonos menores de intemperismos.

Estas rocas se encuentran en la parte alta de los baños de Monterrey, en el tramo comprendido entre Pacucancho y Monterrey.

.- Rocas de la Formación Carhuaz.-

Esta formación consiste aproximadamente de 500 mts. de areniscas y lutitas.

La litología general son areniscas y cuarcitas en capas delgadas con abundantes intercalaciones de lutitas, éstas son negras o grises en la parte baja de la formación, mientras que hacia el tope tienen un color rojo amarillento.

Los mayores afloramientos, se encuentran igualmente al N.E. de Huaraz en el Area de Paria y Pacucancho.

3.2.02 Rocas Volcánicas (Cal puy)

Consiste en una secuencia de piroclásticos y derrames de grosor considerable que cubren áreas extensas tanto la margen derecha e izquierda del río Santa.

El cuerpo principal del volcánico Calipuy consiste: en bancos medianos a potentes derrames, brechas y tufos. La mayoría del material es de composición riolítica.

Localmente en el area de Huaraz en Rataquenuasehayan bien intemperizadas formando masas caolinitas en la parte alta de Bellavista los materiales fluvio-glaciares se encuentran apoyados sobre éstas rocas.

Estas rocas volcánicas se encuentran expuestas en la margen izquierda del río Santa (en la carretera a Casma). También se encuentran afloramientos de pequeñas extensiones en la zona Urbana de Huaraz, y en la parte alta de Nicrupampa y Paria.

3.2.03 Depósitos Cuaternarios

1.- Depósitos Fluvio-Glaciares:

Se encuentran sobreyaciendo a las unidades ya descritas, alcanzando su máximo desarrollo en los alrededores de la Cordillera Blanca. Consisten de gravas: cuarcitas y areniscas (cuyas formas varían de sub-angulosas a sub-redondeadas), y arenas limosas poco seleccionadas; aunque localmente se encuentran pequeños depósitos de barras lacustres bien estratificada como en la zona alta de Huaraz.

Localmente en la zona de Rataquenua y Nicrupampa éstos depósitos descansan sobre una superficie irregular del Volcánico Calipuy. Tienen un grosor aproximado de 150 a 200 mts. (localizados en la parte alta de Huaraz).

Los sedimentos fluvio-glaciares forman escarpas o zonas de deslizamiento que se activan en la época de lluvia; por efectos de soliflucción y la fuerte pendiente

del terreno. Los depósitos se extienden a lo largo del valle de Macashca y Quilcayhuanca desde la cota 3,300 hasta los 4,000 m.s.n.m.

2.- Depósitos aluvionales:

Se encuentran relleno a lo largo del río Santa en los conos de los tributarios.

Estos depósitos están formados por materiales heterogéneos con superficies suavemente inclinados hacia el río Santa. Consisten en bloques de rocas cristalinas de 4 a 5 mts. de diámetro, angulosos, con cascajo arena gruesa y en matriz limosa.

Localmente en la zona Urbana de Huaraz los depósitos aluvionales han sido transportados por el río Quilcay, que proviene de la parte alta de la región, como en el caso último del aluvión del 13 de Diciembre de 1941.

Existe una zona de material fluvio-aluvional antiguo al este de Huaraz, en la parte alta de Huanchac.

En cambio los materiales aluvionales recientes se encuentran extendidos a lo largo del río Quilcay a unos 150 mts. a ambos lados del eje del río. Aunque la actual ciudad se halla edificada, sobre un cono de un antiguo aluvión, transportado por el río Santa y Quilcay.

3.- Depósitos glaciares:

Están constituidos por materiales dejados por antiguas lenguas glaciares; es decir por fragmentos rocosos sub-redondeados con matriz areno - arcilloso.

4.- Depósitos de Talud (o escombros de pendiente):

Están constituidos por acumulaciones de fragmentos angulosos y sub-angulosos al pie de las Laderas de Rataquenua, los Pinos y Huanchac. Son más abundantes hacia el sector de la cabecera de Quilcay en el flanco izquierdo.

Estos depósitos se han formado por la desintegración mecánica de las rocas volcánicas y por procesos gravitacionales de las potentes capas de los materiales fluvio-glaciares; que se han acumulado en las laderas de menor pendiente.

3.2.04 Rocas Intrusivas:

Al sur-este de Monterrey aflora ampliamente el complejo plutónico, conocido como Batolito de la Cordillera Blanca.

La gran masa del Batolito consiste de una granodiorita de grano grueso y está en contacto en algunas áreas con las rocas metamórficas.

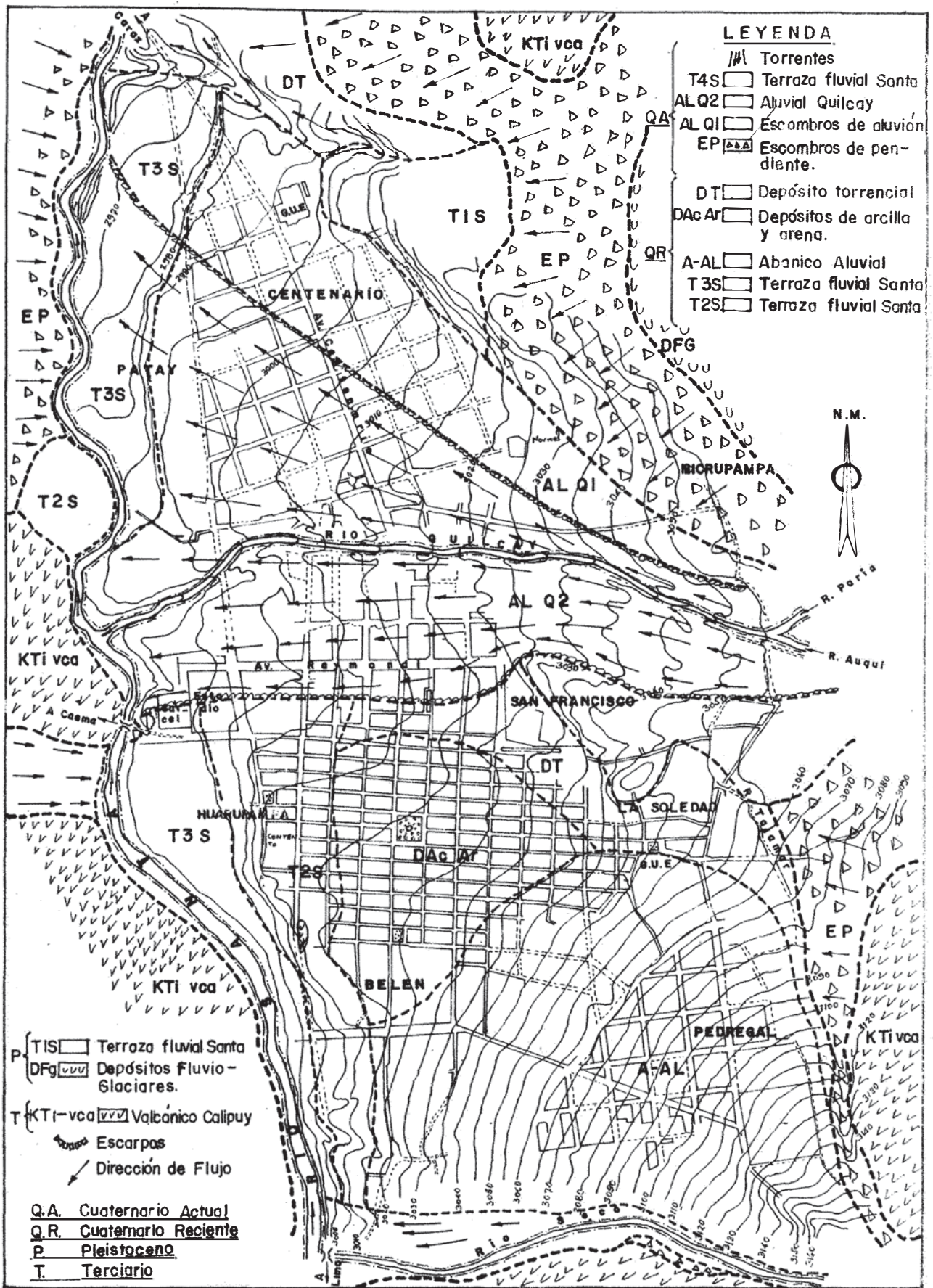
El granito ocurre en algunas áreas del Batolito, cortando a los granodioritas. Generalmente consiste en grande fenocristales de ortosa rosada en una matriz de feldespatos, cuarzo riolita y hornblenda. Estas rocas en la superficie aparecen bastante fracturadas o diaclasadas.

3.2.05 Estructuras Geológicas en Relación con la Sismo-Tectónica

La zona en estudio presenta una tectónica muy complicada, representada por las estructuras plegadas y falladas; la dirección general de los plegamientos (anticlinales y sinclinales) es de N40°W.

La falla regional M-5 reconocida por muchos geólogos en la parte occidental de la cordillera Blanca, ha sido también detectada en el estudio que se hicieron. Habiendo sido localizado en las partes altas de Huaraz donde se observan que la traza de la falla fue cubierta por depósitos fluvio-glaciares.

Una activación posterior de esta falla, no relacionado con el último sismo, ha provocado un fallamiento de los depósitos pleistocénico siguiendo la traza regional, lo que se hace evidente con la presencia de escarpas en los depósitos fluvio-glaciares.



ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA "CRYRZA"		CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE TESIS DE GRADO	
FUENTE: D. I. G. "CRYRZA"		MAPA GEOMORFOLOGICO DEL AREA URBANA DE HUARAZ	PLANO Nº 4
DPTO. ANCASH	ESC. 1/16,000		
PROV. HUARAZ	FECHA. NOV. 1972		

Al norte de Huaraz y hacia las partes altas de los baños Monterrey, existen pliegues de anticlinales y sinclinales en calizas y lutitas de la formación Santa, cuyo núcleo constituyen las cuarcitas y lutitas de la formación Carhuaz. Los ejes de dichas estructuras tienen un rumbo aproximado de N 40°W y son de poca difusión.

3.3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA URBANA

La zona de estudio se encuentra asentada en terrenos compuestos por terrazas fluviales, sedimentos fluviogravitacionales, depósitos de arcilla y arena saturadas, y depósitos aluviónicos (Ver Plano N° 4).

El proceso de erosión, transporte y acumulación ocurridos en el Pleistoceno, (de manera particular en la Cordillera Blanca), combinada con la acción modeladora de los Ríos Santa y Quilcay han conferido a la ciudad de Huaraz, una Geomorfología característica. En efecto los derrames volcánicos (Volcánico Calipuy) que circundan a la ciudad han sido fácilmente erosionados, principalmente por la acción meteórica de las aguas, habiéndose formado un conjunto de quebradas en las que se han producido diversas fases de descarga aluvionales que han disectado y cubierto las disposiciones fluviales de los Ríos Santa y Quilcay.

En el Sector Sur, centro de la ciudad la pendiente media es del 2% ;hacia el Pedregal y Bellavista, alcanza valores aproximados al 10% de pendiente, cuya inclinación sigue una dirección N 45°0 que corresponde a la dirección aproximada de reptación de los depósitos flu - vio - gravitacionales de Pedregal y Bellavista.

En el Sector Norte, proximidades del Barrio Centenario, la pendiente alcanza valores aproximados al 1.8% notándose un incremento de pendiente hacia el Este donde se observan inclinaciones hasta del 20%.

Se puede distinguir en el área de estudio las siguientes unidades geomorfológicas

- 1.- Terrazas Fluviales
- 2.- Depósitos Fluvio-Gravitacionales
- 3.- Depósitos de Arcilla y Arena Saturada.
- 4.- Depósitos Aluviónicos.
- 5.- Depósitos Fluvio-Glaciares.

3.3.01 Terrazas Fluviales

1.- Terraza del Río Santa:

Se han determinado terrazas en la parte baja de Huaraz, notándose claramente la diferencia que hay de una terraza y otra, ya que corresponden a diferentes ciclos heterogéneos de erosión y deposición del Río Santa.

Cronológicamente la terraza más antiguas T1-S, se encuentra ubicada como un remanente en la parte alta del Barrio "El Centenario", y al Este de la G.U.E. Toribio Luzuriaga.

En la parte baja de la Ciudad (Huarupampa) se encuentran las terrazas T2-S y T3-S, prolongándose en las proximidades del Río Seco y al Norte de Patay.

Estas terrazas T2-S y T3-S se encuentran dis - continuas; es decir truncadas principalmente en dos lugares: Torrente Río Seco (al Sur de Huaraz) y en el área de confluencia del Río Quilcay con el Santa. Dichos truncamientos han ocurrido por fenómenos aluvionales, así la terraza T3-S tie como característica la presencia de un horizonte superior de aproximadamente 2 mts. de espe sor constituidos por depósitos aluviónicos. Y además porque muestra cierta orientación paralela al Río Santa.

2.- Terrazas del río Quilcay

En la parte Sur de Huaraz, área de influencia de los Ríos Santa y Quilcay, prácticamente no se han pro ducido terrazas de este tipo, si no más bien un amplio cono aluviónico. Pero se ha encontrado pequeñas terra zas en la margen derecha de este río y en las parte ale deñas al barrio de Nicrupampa.

3.- Río Tajamar y Río Seco:

El primero de éstos ríos, de mínimo caudal, que solo se incrementa en épocas de lluvias, da origen a pequeños depósitos conformados con materiales de grano medio y que corresponden a materiales Fluvio-Glaciares retrabajados. Este pequeño río, tiene importancia en lo que se refiere a las aguas subterráneas de Huaraz, pues se le considera principal fuente alimentadora.

Por otra parte el torrente Río Seco, como su nombre lo indica y de la misma manera que el Río Tajamar se incrementa sólo en épocas de lluvias.

Su fuerte pendiente en su curso medio hacen que la deposición en este tramo sea nula, manifestándose contrariamente una erosión vertical dando lugar a tramos encañonados. Este torrente en su tramo próximo a la confluencia con el río Santa, manifiesta su deposición, mediante un cono de tipo alúvico de regulares dimensiones.

4.- Abanico aluvial:

Se encuentra en la zona de fundación de Pedregal Esta constituido por fragmentos de material Fluvio-Glacial retrabajados (cuarcitas, holfelsitas), de angulosos a subangulosos.

Este depósito tiene su origen en el circo de erosión de Querarpampa, el mismo que ha sido transportado pendiente abajo, principalmente por flujos torrenciales, ocasionados por las precipitaciones fluviales.

La formación de dicho cono ha marchado paralelamente a la evaluación del circo de erosión de Querarpampa.

3.3.02 Depósitos Fluvio Gravitacionales (o escombros de Pendientes)

Estos se han desarrollados por acción de la gravedad contando con la colaboración de las aguas salvajes.

Se encuentran distribuidos en los sectores Bellavista, Pedregal, proximidades de los Pinos y Nicrupampa, por la margen izquierda del río Santa, y también frente a las localidades de Palmira y Vichay.

Litológicamente, en las zonas ubicadas en la margen derecha, están constituidas por materiales fluvio-glaciares retransportados, poco consolidadas y de matriz arcilla-limo-arenoso.

En cambio en la margen izquierdal del Río Santa, estas acumulaciones están constituidas por clastos volcánicos y suelos de naturaleza limo-arcillosa.

3.3.03 Depósitos de Arcilla y Arena Saturadas:

Estos depósitos se encuentran en pleno centro de Huaraz, tal como indica el Plano N° 4.

La distribución de las arcillas dentro del radio urbano, está limitado aproximadamente por las calles Ramón Zavala, 10 de Diciembre, Nueva Granada y Ayacucho. Estos materiales se han sedimentado en una pequeña cubeta que en tiempos remotos habría sido una laguna o Area Pantanosa. Respecto al origen de estos materiales, posiblemente corresponden a las arcillas Fluvio-Glaciares retransportados por la acción de las aguas.

Las arenas saturadas están ubicada en Belén a los alrededores siendo limitantes con los depósitos arcillosos. Esta proximidad y diferenciación se debe posiblemente, al basamento volcánico de la ciudad que mediante una irregularidad de su superficie ha formado una especie de divisoria de las aguas subterráneas.

3.3.04 Depósitos aluviónicos :

Estos depósitos se encuentran en ambas márgenes del Río Quilcay, formando un amplio cono aluviónico.

Estan constituidos mayormente por bloques de granodiorita que en tamaño superan los 5 o 10 mts. de diámetro.

Así mismo se hacen notorios los vestigios dejados por antiguos áluviones representados topográficamente por pequeñas elevaciones que correspondieron a los flancos de tales fenómenos.

3.3.05 Depósitos Fluvio Glaciares:

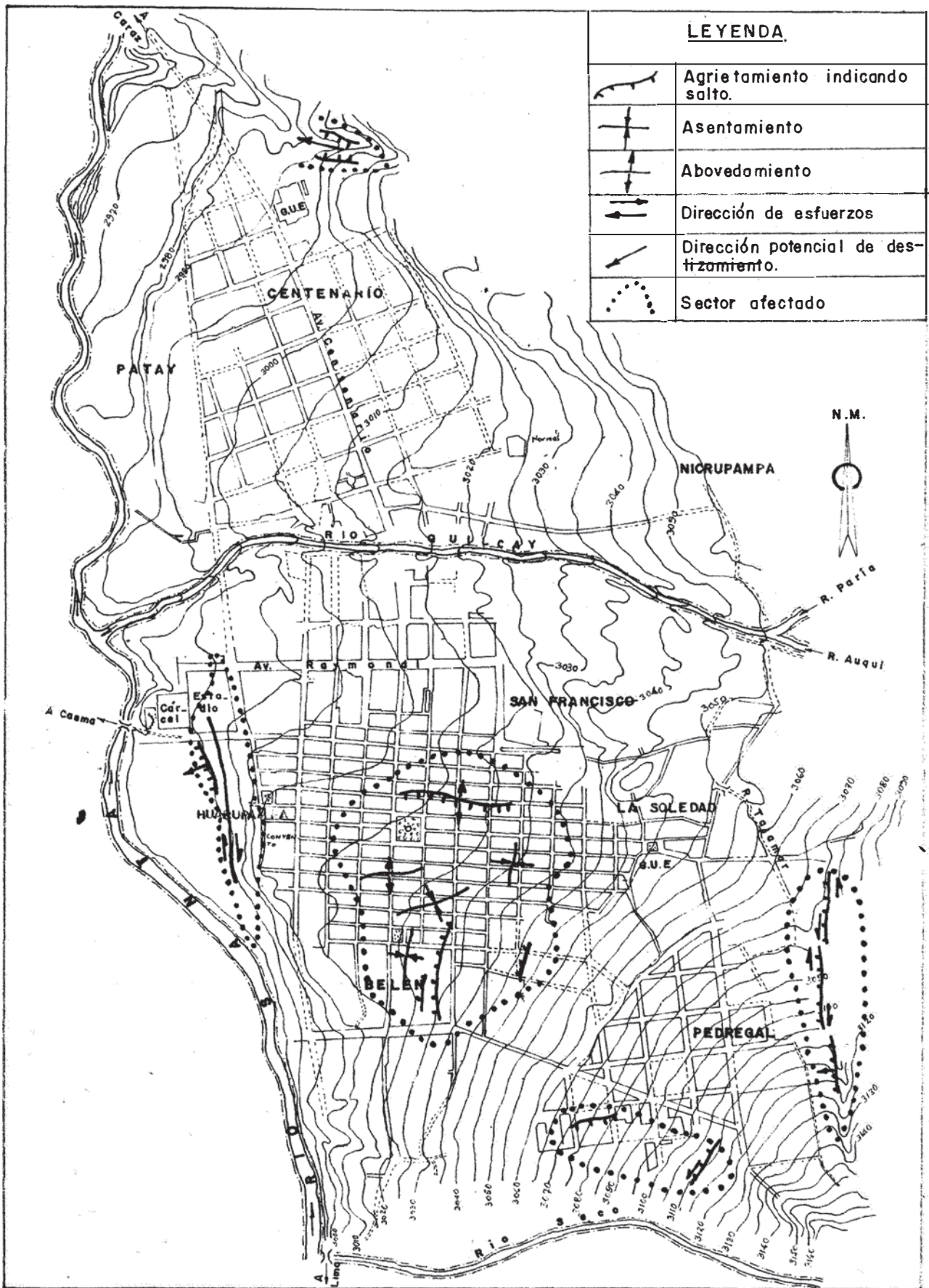
Estos depósitos se encuentran en las partes altas y marginales de la ciudad, dentro de las cuales aparecen afloramientos volcánicos (constituyendo éstos últimas ventanas geológicas). No se entrará en mayores detalles por no estar en el área de estudio.

Los materiales constituyentes están compuestos por fragmentos angulosos a sub-angulosos de diferentes tamaños (algunos bloques superan los 50 cms de diámetro), de cuarcitas y hornfelsistas, cuyo aglutinante es de material, limo-arcilloso-arenoso.

3.4. EFFECTOS SISMICOS EN EL AREA URBANA

Los efectos Sísmicos en el área Urbana de Huaraz, se han estudiado sobre un área de 6.8 Km² aproximadamente. (Ver Plano N° 5).

En el presente estudio se hace una descripción de los efectos sísmicos producidos por el terremoto de Mayo de 1970 que se extendió en todo el Callejón de Huaylas, especialmente en el área Urbana de Huaraz cuyos procesos de la geodinámica externa se descubren como los efectos inmediatos del sismo y que son los siguientes:



LEYENDA	
	Agrietamiento indicando salto.
	Asentamiento
	Abovedamiento
	Dirección de esfuerzos
	Dirección potencial de des- tizamiento.
	Sector afectado

ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA
"C R Y R Z A"

FUENTE: D. I. G. "C R Y R Z A"

DPTO. ANCASH ESC. 1/16,000

PROV. HUARAZ FECHA. NOV. 1972

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE
TESIS DE GRADO

MAPA DE EFECTOS
SISMICOS

PLANO
Nº
5

- AGRIETAMIENTOS
- ABOVEDAMIENTOS
- ASENTAMIENTOS

3.4.01 Agrietamientos

En la Zona Urbana de Huaraz y alrededores, tanto en la margen derecha e izquierda del Río Quilcay, se han localizado varios agrietamientos.

Todos éstos agrietamientos tienen como causa común las fuerzas tensionales y de gravedad.

1.- En la Margen derecha del Río Quilcay:

Este agrietamiento se ha detectado encima del Hotel de Turistas (cerca ha una quebradita), en material aluvional.

Tiene la forma anular, con una dirección S.E. NW de una longitud de 200 mts. con salto 0.50 m. y una cobertura 0.20 mts.

2.- En la margen izquierda del Río Quilcay:

Se han observado tres áreas de agrietamientos bien marcados, una al pié del cerro de Rataquenua. otra en la zona baja de Huarupampa y en el centro de la ciudad.

AL PIE DE RATAQUENUA:

- El agrietamiento es circundante al cerro mencionado.

- Se han producido en depósitos gravitacionales asociados a manantiales que existen en sus proximidades.
- Se proyectan con un rumbo generalizada de N 60°W.
- Presentan desplazamiento horizontal de 0.60 mts. y salto de 0.30 mts.
- En el área existen hasta 5 agrietamientos con longitudes de 50 a 100 mts. aproximadamente.

ZONA BAJA HUARUPAMPA:

- Los agrietamientos se han producido en el contacto de 2 terrazas del Río Santa, y también están asociados a manantiales que existen en sus aproximidades.
- Son más notorios que los anteriores y siguen un rumbo generalizado N-S
- Tienen una longitud de 250 a 350 mts.
- Siguieron un mismo alineamiento con pequeñas interrupciones.
- Se ha observado aberturas 0.10 a 0.30 mts. y saltos de 0.40 mts.

AREA DEL CENTRO DE LA CIUDAD:

- En el área de la ciudad también han ocurrido agrietamientos, pero su observación detallada

no ha sido factible, debido a que los agrietamientos fueron cubiertos por escombros.

- Han sido detectado las grietas por sus efectos producidos en las edificaciones (en las lo sas), desarrollándose resquebrajaduras en paredes

3.4.02 Aovedamientos:

Las causas de éstos fenómenos se podrían atribuir a las siguientes alternativas:

- 1° Que se deben al paso de las ondas sísmicas
- 2° Que se deben a la sobrecarga de las edificaci o nes.

1° ALTERNATIVA.-

Aquí se considera que los abovedamientos han quedado como testigos del paso de las ondas sísmicas que prácticamente han plegado al manto mueble.

Las fuerzas que han intervenido son del tipo compresional vertical.

Luego de realizar un mapeo de éstos efectos se puede inferir que las ondas sísmicas se difundieron siguiendo un rumbo N-S ó S-N, ó sea trans versales a los ejes de abovedamiento.

También se ha podido observar que los abovedamientos no han ocurrido en forma aislada sino como un

sistema de pequeños anticlinales y sinclinales (o levantamiento y hundimiento).



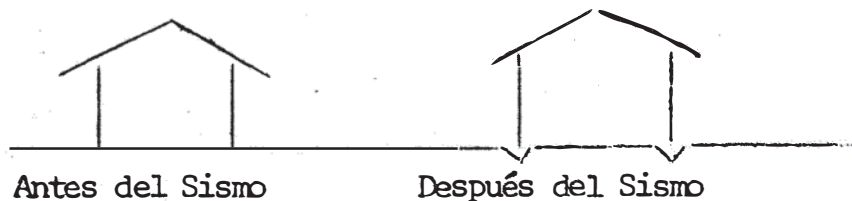
Efecto de Abovedamiento

Como se puede observar en el gráfico un sistema de abovedamientos como el ocurrido en Huaraz, no solo ha provocado levantamientos, sino también hundimientos (o asentamientos).

Estos efectos son observables en el área de Belén (área más afectada), donde han producido pequeños levantamientos en la calzada y losas de las casas.

2º ALTERNATIVA .-

Aquí se considera que los abovedamientos son únicamente aparentes y que en realidad se trata solo, de fenómenos de asentamientos por compactación diferencial y por sobre carga de las edificaciones, ya que sufre un incremento en peso como consecuencia de aceleraciones verticales. A continuación se presenta un croquis explicativo:



3.4.03 Asentamientos.-

Hay tres causas por la que ocurre el fenómeno de asentamiento en el área Urbana de Huaraz sobre los materiales cuaternarios como aluvionales y fluviales:

- 1° Abovedamiento
- 2° Presencia de Agua Sub-Terránea
- 3° Compactación diferencial.

1° ABOVEDAMIENTO.-

Este caso, al sufrir levantamientos han tenido en sus flancos efectos de hundimientos o asentamientos por tratarse de una serie de ondulaciones que han sucedido en forma alternada (plegamientos), a manera de un sistema de pequeños anticlinales y sinclinales al paso de las ondas sísmicas.

Luego "Los Abovedamientos" corresponderían a la bóveda de éstos pequeños anticlinales" y "Los Asentamientos" corresponderían a la parte cóncava de lo sinclinales.

2° PRESENCIA DE AGUA SUBTERRANEA.

Aquí las oscilaciones de la napa freática han sido causa de los asentamientos, debido a que han provocado pequeños vacíos en el sub suelo.

3° COMPACTACION DIFERENCIAL

En este caso es bien conocido que las ondas sísmicas producen compactación en materiales poco consolida

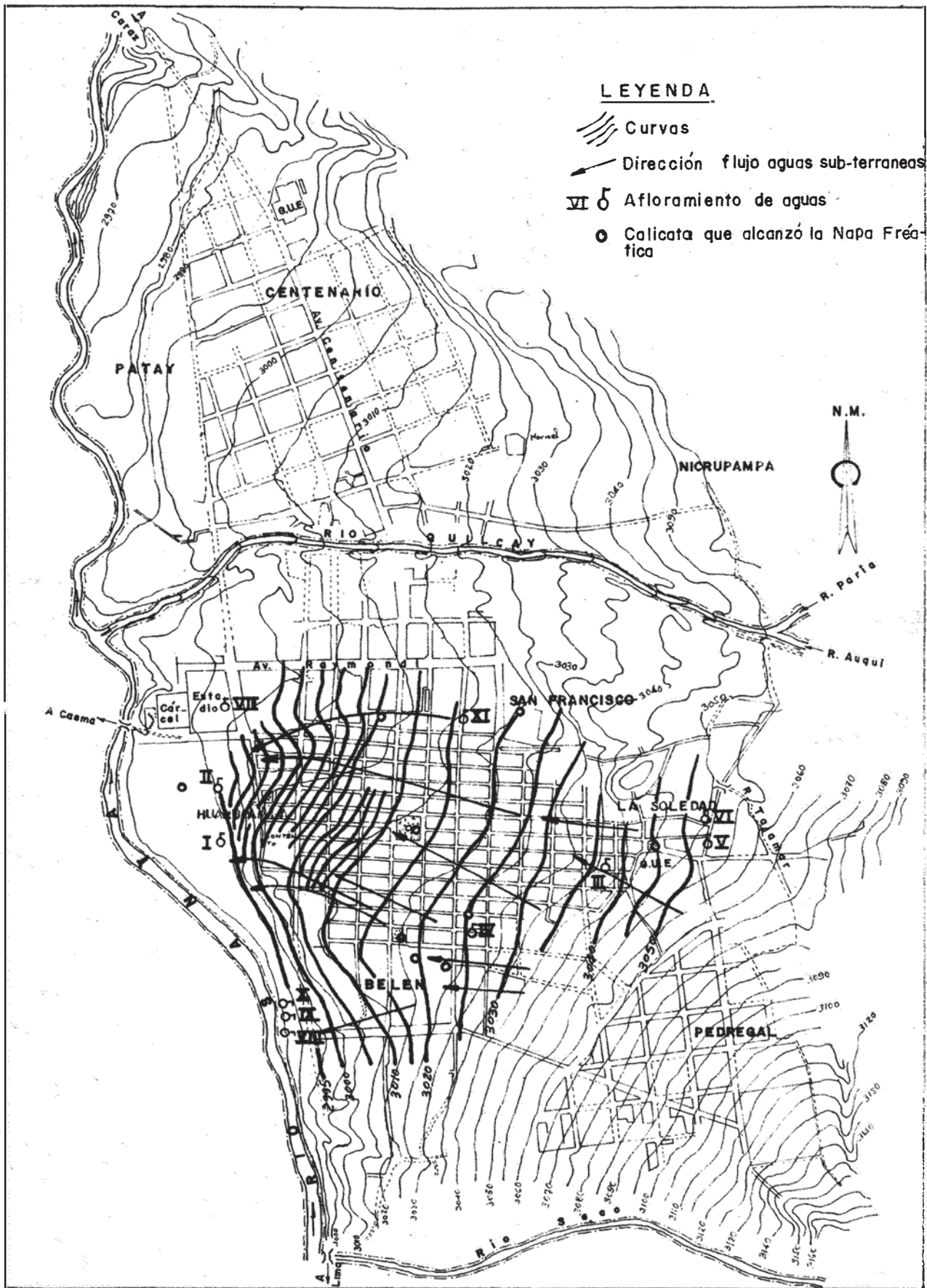
dos, los cuales se han compactado de acuerdo a sus diferentes características de coherencia (densidades). En estas condiciones ciertos horizontes han sufrido disminución en su volumen sumándose a éste fenómeno la sobrecarga de las columnas y paredes, los cuales han sufrido asentamiento. Lo cual es diferenciable con las losas, que al no tener ésta sobrecarga no han sufrido asentamiento.

3.5. CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE HUARAZ.-

La finalidad de esta parte de estudio, es investigar las condiciones hidrogeológicas del subsuelo de la ciudad, la presencia y características de napas freáticas el origen y sentido de desplazamiento de las aguas subterráneas, etc.

Los trabajos de campo se iniciaron en el mes de Noviembre y finalizaron a mediados de Diciembre (1,970) Los datos que voy a tomar de este estudio se van a basar en lo siguiente:

- a.- Inventario General de los Afloramientos de Agua en la ciudad.
- b.- Control de 24 Calicatas ejecutadas en diferentes puntos de la ciudad, con la finalidad de conocer el tipo de material del acuífero, y la profundidad del nivel freático.



ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA
"C R Y R Z A"

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE
TESIS DE GRADO

FUENTE: D. I. G. "C R Y R Z A"

CURVAS ISOPIEZOMETRICAS DEL
EXTREMO SUR DE LA CIUDAD
DE HUARAZ

DPTO. ANCASH ESC. 1/16,000

PLANO
N°

PROV. HUARAZ FECHA. NOV. 1972

6

En el campo se ha determinado una napa freática en el extremo Sur de la ciudad de Huaraz, que discurre en un acuífero poco permeable, formado por deposiciones Fluvio-Aluvionales, lo que presenta niveles de arcilla de color oscuro (descomposición de vegetales), color rojizo y amarillento, así como un potente horizonte de rodados de gran diámetro.

3.5.01 Napa freática en la ciudad de Huaraz-

1.- Origen de la Napa Freática curvas iso-piezométricas.-

El ploteo en ésta zona de 11 manantiales de agua y la excavación en 9 diferentes puntos (calicatas), hasta determinar el nivel freático nos permitió levantar la carta Isopiezométrica de este sector de la ciudad (extremo Sur). Los filetes de esta napa indican la procedencia y sentido de desplazamiento del caudal subterráneo. En la zona indicada éstos filetes tienen una orientación Sur-Este y Nor-Este, en su extremo medio y superior, variando esta orientación en su parte inferior de Este a Oeste (Ver Plano N° 6).

Dichos filetes nos indican que la napa es alimentada por las filtraciones procedentes de la quebrada de Bellavista, Rataquenua, y en especial por el cauce permanente de agua, conocido como el "Tajamar", que se desplaza entre la planta de tratamiento del agua potable y el río Quilcay (este cauce no se encuentra impermeabilizado).

2.- Características de la Napa Freática.-

FORMA DE LA NAPA

- La napa es libre, a filetes convergentes, con un ancho conocido de 800 mts. (cubriendo una distancia entre el Estadio Rosas Pampas y Av. Pedro Villón) y es drenada por el Río Santa.

POTENCIA DE LA NAPA:

- La Potencia total de la napa no es aún conocida, pues no se han efectuado perforaciones que hayan alcanzado el basamento.

- Por la observación del terreno en los primeros 7 mts. de algunas calicatas se puede inferir que no existe napa en recarga y que el acuífero es de muy baja permeabilidad.

GRADIENTE HIDRAULICA.-

- En general, la gradiente hidráulica presenta valores elevados por encontrarse en relación con la topografía de la zona.

- Se han tomado dos valores representativos entre los siguientes puntos:

1° Plazuela la Soledad-Plaza de Armas

$$i = \underline{42/1,000}$$

2° Plaza de Armas-Extremo Oeste de Huarupampa

$$i = \underline{34/1,000}$$

- Entre el puente San Jerónimo y el final de la Av. Villón, la napa comienza a manifestarse en forma de una serie de manantiales empla-
zados en el borde derecho del río Santa.

CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS DE LA NAPA.-

- No se han efectuado pruebas de bombeo para determinar el coeficiente de almacenamiento y transmisividad del acuífero, pero se puede anticipar que debido a la pobre permeabilidad del terreno, el coeficiente de transmisividad debe encontrarse comprendido en el orden de $1.10 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg.}$
- En conclusión, el acuífero es de pobre rendimiento.

3.5.02 Afloramientos de Agua en la ciudad de Huaraz.-

Se han tomado en un total de 31 afloramientos encontrados en la ciudad y alrededores, tan solamente 11 que corresponden a la zona urbana. (Ver Plano N° 7)

Se trata de débiles emergencias de la napa, con caudales comprendidos entre 0.5 y 2.0 lts/seg. que surgen debido a condiciones favorables del acuífero y depresiones topográficas, abasteciendo muchos de ellos en agua potable a los moradores del lugar.

A continuación se describirá cada uno de los afloramientos encontrados en la zona Urbana, por considerarseles importantes para nuestro estudio. Además se ha preparado un cuadro con las principales características de todos los afloramientos de agua (o manantiales)

1.- Afloramientos de Agua N° I y II (Huarupampa)

Se trata de una fuente de agua muy apreciada por los moradores. El análisis químico lo califica como una agua de óptima calidad y el caudal estimado es de 0.5 lts/seg.

2.- Afloramiento de agua N° III (Av. 28 de Julio, Próximo a la G.U.E. Sta. Rosa de Viterbo)

De acuerdo a las referencias obtenidas, la existencia de éste afloramiento se remonta al siglo pasado y siempre constituyó una fuente de abastecimiento ideal para los moradores del lugar.

Se trata de una agua de excelente calidad de 2.0 lts/seg., se mantiene uniforme durante el año y no se tiene referencias que en alguna época haya cesado de fluir.

3.- Afloramiento de agua N° IV (Entre ls Jrs. Junín y Puno.-

Emerge con un caudal estimado de 1.2 lts/seg. y era la fuente de alimentación del antiguo Hospital de Belén.

En la actualidad y al igual que el afloramiento N° III, abastece en agua potable a los moradores del lugar.

4.- Afloramiento de agua N° V y VI (Al final del Jr. Sucre y Jr. Bolivar respectivamente).

El caudal estimado es de 0.5 lts/seg. para el N° 5 y 0.6 lts/seg. para el N° 6.

Los análisis revelan que se trata de una agua de excelente calidad y alimenta al vecindario en casos de emergencia.

5.- Afloramiento de Agua N° VII (Estadio de Rosas Pampa)

Este afloramiento es el principal de un conjunto de pequeños manantiales, las que son captadas para luego discurrir entubados desde el Estudio Rosas Pampa, hasta el borde del río Santa (detrás de la capilla San Jerónimo), con un caudal de 3.0 lts/seg.

Estas aguas cubren la demanda de los moradores del lugar.

Es importante indicar que la parte baja de la ciudad (entre las cotas 2,995 y 3,000mts. sobre el nivel del mar) se caracteriza por la emergencia de la napa freática, formándose de esta manera lugares de zona húmeda.

6.- Afloramientos de Agua N° VIII IX y X (Al borde del Río Santa).

Son puntos de emergencia de la napa freática debido a los valores bajos de la cota.

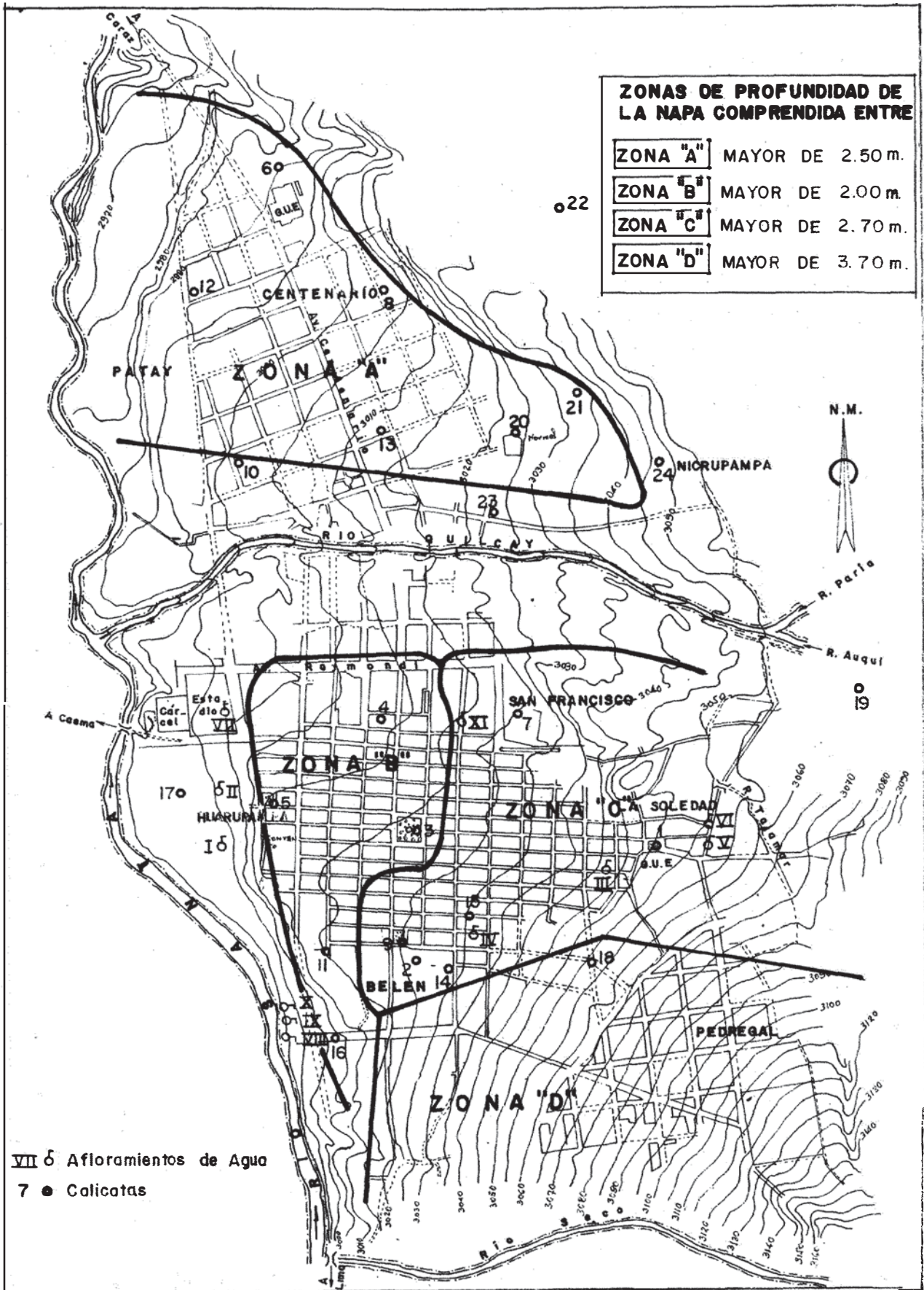
Al igual que los anteriores, éstos afloramientos son aprovechados por los vecinos del lugar. El mayor caudal corresponde al N° VIII con 2.0 lts/seg.

7.- Afloramiento de agua N° XI (Entre las avenidas Cajamarca y Venezuela en San Francisco)

Emerge con un caudal estimado de 0.5 lts/seg. Este manantial fue uno de los principales que alimentó al vecindario después del último sismo.

CUADRO DE LOS AFLORAMIENTOS DE AGUA EN LA CIUDAD DE HUARAZ CON SUS CARACTERISTICAS PRINCIPALES

N°	UBICACION	COTA EN(MS)	CAUDAL (LT/SEG)	CALID. AGUA	CAP-TADO	REGIMEN
I	Huarupampa	2994	0.50	buena	NO	regular
II	Huarupampa	2995	0.50	buena	NO	regular
III	Av. 28 de Julio	3037	2.00	buena	SI	regular
IV	Entre Junin y Puno	3022	1.20	buena	NO	regular
V	Final Jr. Sucre	3053	0.50	buena	NO	regular
VI	Final Jr. Bolivar	3052	0.60	buena	SI	regular
VII	Est. Rosas Pampa	2998	3.00	buena	SI	regular
VIII	Borde Río Santa	2990	1.50	buena	NO	regular
IX	Borde Río Santa	2990	0.40	buena	NO	regular
X	Borde Río Santa	2990	0.20	buena	NO	regular
XI	Jirón Cajamarca	3016	0.50	buena	NO	regular



ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA
"C R Y R Z A"

FUENTE: D. I. G. "C R Y R Z A"

DPTO. ANCASH ESC. 1/16,000

PROV. HUARAZ FECHA. NOV. 1972

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE
TESIS DE GRADO

DELIMITACION DE AREAS EN
RELACION CON LA NAPA FREATI-
CA - AFLORAMIENTOS DE AGUA.

PLANO
N°
7

3.5.03 Determinación de áreas en la ciudad de Huaraz en función de la profundidad de la napa freática.-

La naturaleza del sub-suelo en sus primeros me tros así como la presencia de la napa freática, ha sido posible determinarlo mediante la ejecución de 24 calicatas en diferentes puntos de la ciudad. Así mismo, con es tos datos ha sido posible elaborar la carta respectiva, en la que se han considerado cuatro zonas en función a la profundidad del nivel freático. (Ver Plano N° 7), las que a continuación se describe:

1.- Zona "A" (Barrio del Centenario y Patay)

Comprende la parte Norte de la ciudad, zona donde se efectuaron 7 excavaciones con profundidad máxima de 7.50 mts. (ver perfiles). Sólo en uno de ellos se determinó la presencia de la napa freática y éste fue a los 2.50 mts. (calicata N° 8).

En esta zona debido a la profundidad de la ma sa de agua y la compacidad del sub-suelo (como puede ver se en los respectivos perfiles), le confieren una buena estabilidad y sin problemas para las fundaciones, por lo que le consideramos como la mejor zona de la ciudad de Huaraz.

2.- Zona "B" (Delimitada por los barrios de San Francisco Belén y Huarupampa)

Esta parte de la ciudad limita con zonas donde la napa freática aflora en diferentes puntos.

Al igual que en la zona "A" el perfil de las excavaciones muestran horizontes de materiales compactos y el nivel del agua subterránea se encuentra a cierta profundidad.

Por su ubicación próximo a zonas de afloramiento de la napa, dicha superficie presentaría cierto problema a los trabajos de fundaciones, es por ello que la clasificamos como zona intermedia.

3.- Zona "C" (Barrio la Soledad, San Francisco y Parte de Belén.

Esta zona se caracteriza por la presencia de muchos manantiales y en general la napa freática se encuentra a poca profundidad, presentando serios problemas a los futuros trabajos de fundaciones. Esta situación convierte a ésta área en la peor zona de la ciudad.

Las vibraciones producidas por el sismo del 31 de Mayo de 1970 provocaron el asentamiento de las bases de muchas construcciones y los efectos más devastadores del mencionado sismo se registraron precisamente en esta zona.

En efecto; el sub-suelo no ofrece garantías de estabilidad por encontrarse saturada por la napa.

4.- Zona "D" (Barrio del Pedregal y Parte de Belén)

Poco es lo que se conoce del sub-suelo de éstos terrenos, pero por las referencias que se tiene (a 17 mts. de profundidad en la Av. José Larrea la napa no ha sido hallada) y por ser ésta la parte principal de las descargas aluvionales de la quebrada de Bellavista, se deduce que el nivel freático discurre a buena profundidad.

Aunque desde el punto de vista de la profundidad del agua subterránea, la zona puede ser considerada como buena, debe pensarse también que se tratan de terrenos ubicados próximos a la quebrada Bellavista y sujeto a los peligros de descargas aluvionales.

3.6. CONDICIONES DE SUELOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ

Las investigaciones se han llevado a cabo por medio de 24 excavaciones a cielo abierto distribuidos en toda el área urbana, con el objeto de estudiar la estratigrafía de los suelos de Huaraz.

Se han elaborado los perfiles estratigráficos de las 24 calicatas, en ellas se detallan las variaciones litológicas y estructurales del suelo; la descripción nos muestra un episodio heterogéneo de los compponentes del suelo, al mismo tiempo que procesos combinados en la formación y evolución de los mismos.

La ubicación de todos los pozos de explotación (calicatas) se muestra en el Plano N° 7. Los suelos encontrados en las exploraciones se muestran en los perfiles que se presentan en el Anexo I del presente trabajo.

3.7. Conclusiones.--

1.- Los afloramientos de rocas o VOLCANICO CALIPUY se presentan aisladamente hacia el Este, Sur y zona Occidental del Río Santa. Por lo que la ciudad de Huaraz esta rodeada por éste tipo de roca Volcánica y a la que se le consideran EL BASAMENTO (Ver Planos N°2 y 3).

2.- En el área urbana y sub-urbana de Huaraz se nota con mayor actividad las evoluciones geomórficas, cuya influencia ha sido decisiva en la destrucción de edificaciones (Ver Plano N° 4).

3.- La cubeta de Huaraz está rellena de las siguientes unidades geomórficas:

- a.- Terrrazas fluviales
- b.- Depósitos fluvio-gravitacionales
- c.- Depósitos de arcilla y arena saturadas.
- d.- Depósitos aluviónicos
- e.- Depósitos fluvio-glaciares.

Los aluviones eventuales que se desarrollan a lo largo del Río Quilcay, están en función directa al con

trol de las Lagunas de la Cordillera Blanca tales como Cojup, Cuchillacocha, etc.

4.- Los efectos inmediatos como consecuencia del último sismo (31-6-70) en el área de Huaraz y alrededores, según la geodinámica externa son las apariciones de agrietamientos, abovedamientos y asentamientos (Ver Plano: N° 5)

a.- Los agrietamientos observados en la parte baja de Huarupampa y al pié del Cerro Rataquenua se han producido por gravedad y debido a que han tomado un nuevo estado de equilibrio no ofrece mayor peligro de activamiento.

b.- Los abovedamientos tienen 2 causas: las ondas sísmicas como responsables de compactación diferencial y debido a la sobrecarga de las edificaciones como consecuencia del aumento de peso por aceleraciones.

c.- Los asentamientos han tenido como causa la sobrecarga de las edificaciones. Estos fenómenos se han producido en zonas donde el estrato es de naturaleza arcillosa.

5.- Según hechas las investigaciones de las condiciones hidrogeológicas del sub-suelo de la ciudad (Ver Planos N° 6 y 7) se encontró lo siguiente:

a.- La napa freática del extremo Sur de la ciudad tienen como origen las filtraciones de las precipitaciones pluviales que se producen en las quebradas de Bellavista y Rataquenua, así como las filtraciones del canal no revestido del curso de agua conocido como el Tajamar, situados en los extremos Nor-Este y Sur-Este de la ciudad.

b.- La Napa freática es libre, no existe en recarga y discurre en un acuífero fluvio - aluvional de baja permeabilidad.

c.- La gradiente de ésta napa registra como valores: 42/1,000 entre la Plaza de la Soledad y la Plaza de Armas. 34/1,000 entre la Plaza de Armas y el extremo Oeste de Huarupampa.

d.- Teniendo como base 24 excavaciones efectuadas en la ciudad se ha podido delimitar 4 zonas en función de la profundidad del nivel freático (Ver plano N° 7).

6.- La excavación de 24 calicatas ha servido para conocer las variaciones litológicas y estructurales del suelo, cuya composición es heterogénea. Además ha facilitado poder relacionar con la información hidrogeológica y con los efectos sísmicos observados superficialmente (Ver Anexo I).

C A P I T U L O I V

ESTUDIO DEL BASAMENTO ROCOSO

PROSPECCION POR GRAVEDAD

4.1. INTRODUCCION.

Uno de los métodos geofísicos más adecuados y precisos para tener un estudio de la geología del subsuelo es la "Refracción Sísmica", el mismo que determinaría la potencia del relleno sedimentario que suprayace a la roca basamento, y no solamente se obtendría dicho resultado, sino también las características elásticas de las unidades geológicas del subsuelo, mediante la propagación de ondas.

El sismo de Mayo de 1970, provocó la destrucción de la ciudad de Huaraz y anímicamenté los habitantes de ésta ciudad se hallaron traumatizados, lo que ha motivado que no se usen métodos sísmicos por reflexión

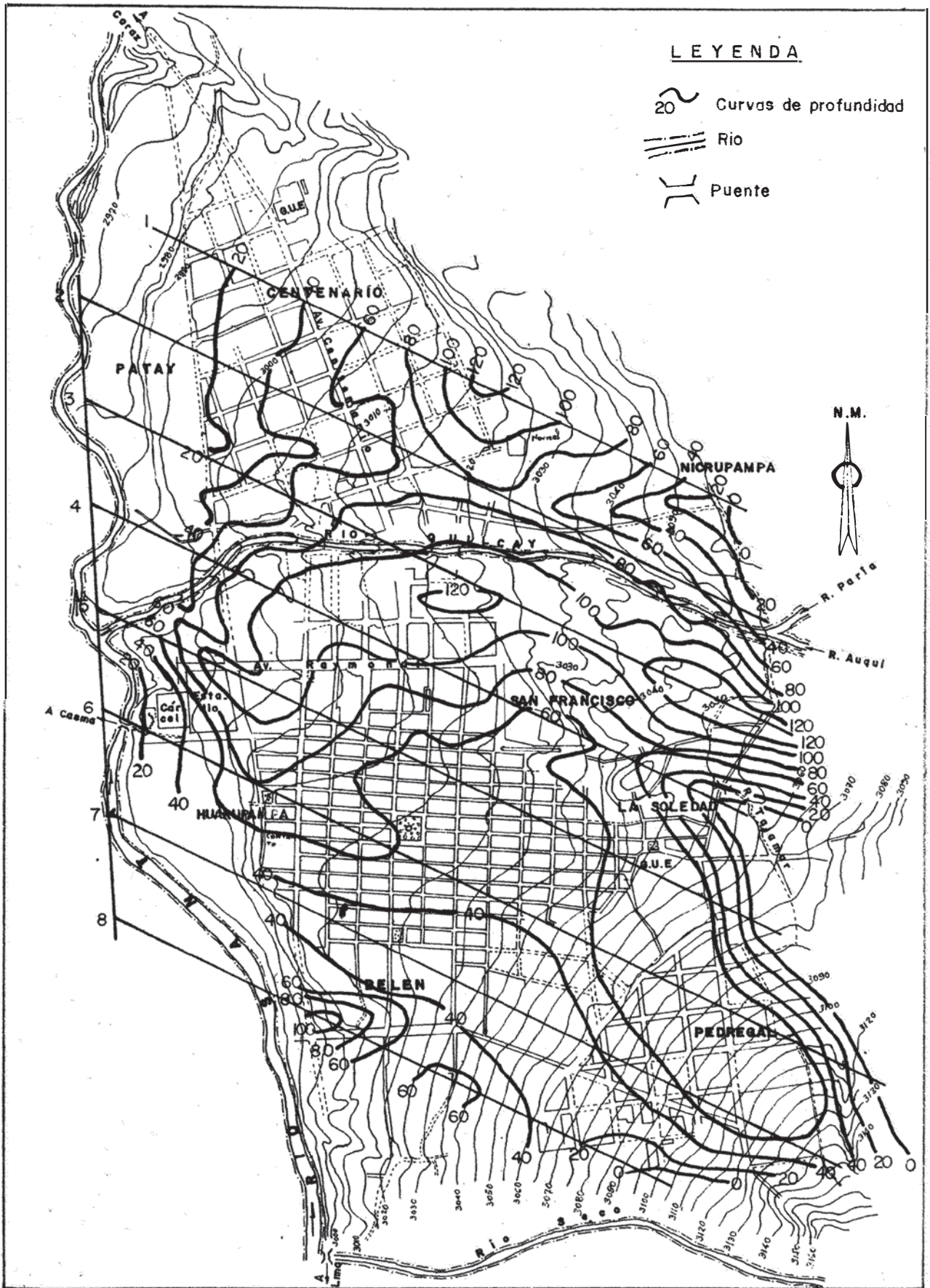
o refracción, en primer lugar por la falta de equipo y segundo por que esta técnica requiere del uso de explosivos como la dinamita; que conllevaría a precauciones especiales para no causar trastornos al tráfico vehicular y muy especialmente no motivar la alarma en el poblador.

Estas son en sí, las dificultades que han requerido el uso del método geofísico: "Prospección por Gravedad".

Básicamente el método por gravedad descubre y mide las variaciones laterales de la atracción gravitatoria del suelo, que están asociados a cambios de la densidad próximos a la superficie.

Haciendo un poco de historia, la prospección por gravedad se desarrolló después de que durante varias décadas habían sido llevadas a cabo mediciones con el péndulo para determinar la forma exacta de la tierra, a base de las variaciones de la atracción gravitacional entre diferentes estaciones de observación.

El presente estudio consta fundamentalmente de un procedimiento de campo, de gabinete y de la interpretación cuantitativa; en base del cómputo de modelos con la finalidad de obtener la forma y profundidad aproximada del basamento.



ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA "C R Y R Z A"		CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE TESIS DE GRADO	
FUENTE: D. I. G. "C R Y R Z A"		PROFUNDIDADES DEL BASAMENTO ROCOSO	PLANO N° 8
DPTO. ANCASH	ESC. 1/16,000		
PROV. HUARAZ	FECHA. NOV. 1972		

Es de mucha importancia los mapas de profundidad y sus perfiles para la consiguiente microzonificación sísmica de la ciudad de Huaraz (Ver Plano N° 8 y Anexo II).

4.2 OBJETO DEL ESTUDIO

Se han realizado estudios gravimétricos en la ciudad de Huaraz, con el objeto fundamental de investigar la forma de basamento a la que suprayacen los depósitos sedimentarios recientes, sobre la que se desarrolla la ciudad.

Esta técnica formó parte del programa de estudios de investigación básica, de las ciudades afectadas por el sismo, con fines de microzonificación sísmica y especialmente conseguir la correlación de las características del subsuelo y los efectos sísmicos en la superficie.

Por consiguiente, para lograr lo anterior, es necesario tener una proximación de las variaciones de la potencia de rellenos sedimentarios, sobre la que en forma general descansa la ciudad. Se insiste en que los valores son aproximados, pues para hallar con precisión la potencia de suelos aluviales, se requiere de sondajes profundos (para ajustar los cálculos gravimétricos) los que por su elevado costo no se realizaron.

4.3. PRESENTACION DEL METODO DE PROSPECCION POR GRAVEDAD

En la prospección por gravedad se miden las pequeñísimas variaciones que en la atracción gravitatoria ejercen las rocas emplazadas en los primeros Kilómetros por debajo de la superficie del suelo. Los diferentes tipos de rocas tienen densidades diferentes y las rocas más densas ejercen mayor atracción gravitacional. Si las rocas más densas están arqueadas hacia arriba, formando una elevación estructural, el campo gravitatorio terrestre será mayor sobre el eje de la estructura que a lo largo de sus flancos. Por otra parte (Ejemplo), un domo salino, que es menos denso que las rocas en que esta intruido puede ser descubierto gracias a los bajos valores de la gravedad que normalmente son registrados sobre el mismo.

Resumiendo el presente método tienen su base en la medida de las variaciones laterales de la atracción gravitatoria, las mismas que se hallan asociadas a cambios de la densidad.

Los materiales depositados recientemente denominados sedimentarios del cuaternario tienen densidades diferentes, comparados con las de la roca basamento, lo que motiva anomalías .

El estudio geológico del área de la ciudad y alrededores, y el principio de la Teoría del Potencial, posibilita lo siguiente:

- La interpretación de la anomalía ..
- La obtención aproximada de la potencia de los sedimentos.
- Y fundamentalmente de la configuración de la roca de basamento o cuenca del aluvionamiento.

La prospección por gravedad, por ser un método indirecto de prospección geofísica, presenta su limitación especialmente en los valores obtenidos de la profundidad de basamento, que tendrían que ser correlacionados por intermedio de perforaciones profundas hasta alcanzar el basamento.

4.4. INSTRUMENTAL UTILIZADO

4.01 Equipo.-

Para las mediciones de gravedad se ha hecho uso del gravímetro WORDEN N° 619 MODELO III, prestado por el Instituto Geofísico del Perú, como colaboración a CRYRZA durante los meses de Octubre y Noviembre de 1970.

El gravímetro o medidor de gravedad, mide directamente pequeñas variaciones en la componente verti-

cal de la gravidad. Este instrumento puede determinar diferencias 0.1 miligales, y aún menores, y para que pudierra ser utilizado en la prospección se ha requerido una gran ingeniosidad en su construcción para lograr esta sensibilidad.

4.4.02 Unidad de Medida.-

En el sistema CGS, la aceleración de la gravedad tiene por unidad de medida centímetros por segundo por segundo (cm/seg^2). Entre los geofísicos esta unidad se denomina "GAL" (en honor de Galileo, que fue uno de los primeros en estudiar la gravedad). Puesto que la aceleración gravitatoria en la superficie terrestre es de $980 \text{ cm}/\text{seg}^2$ o 980 gales, y como las anomalías de una diez millonésima de este valor tienen a veces importancia científica o económica, la unidad práctica utilizada en Geofísica para la aceleración de la gravedad es el miligal, o milésima de gal.

4.5. TRABAJO DE CAMPO

4.5.01 Area de trabajo.

El área de mediciones gravimétricas en la ciudad de Huaraz comprende aproximadamente un rectángulo de 3.6Km siguiendo la dirección del curso del Río Santa, y 2 Kms. de ancho, lo que representa 720 Has. aproximadamente.

4.5.02 Período y Número de mediciones.-

Se realizaron 230 mediciones en el período de 30 días. Iniciados los trabajos de medición, se tropezaron

con problemas que presentaba el desmonte de la ciudad de rruida por el sismo, lo que dificultó enormemente el normal desarrollo de las mediciones.

4.5.03 Topografía y ubicación de estaciones.-

Paralelamente a las mediciones de gravedad se realizó un levantamiento topográfico, por una brigada de topógrafos, estudiantes del último año de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El sistema de mediciones gravimétricas fue el de Nettleton (ABCD) eslabonamiento; estableciéndose 14 bases de partida y circuitos cerrados, todos ellos ligados al B.M W363 de la ciudad perteneciente a una línea de nivelación geodésica de 2º orden y estación del levantamiento gravimétrico regional del Instituto Geofísico del Perú.

Como quiera que la ciudad de Huaraz tiene aproximadamente el área enmarcada, se han localizado en ella casi la totalidad de estaciones gravimétricas, especialmente en la intersección de las calles, los mismos que por su naturaleza se tomó un espaciamiento promedio de 100. a 150 mts.

4.5.04 Deriva instrumental.-

Si un gravímetro se deja en reposo durante una hora después de haber realizado una observación, y se rea

liza una nueva lectura, se encontrará que el valor de la gravedad ha cambiado durante este intervalo una magnitud del orden de varias horas, y si se trasladan los valores observados de la gravedad en un diagrama en función del tiempo, los puntos tienden a alinearse en una curva tendida y en general en una línea recta. Esta ligera variación de los valores de la gravedad en función del tiempo se denomina "DERIVA" y está originada por el hecho de que los muelles o fibras de torsión del gravímetro no son perfectamente elásticas sino que están sometidos a una lenta recuperación durante largos períodos.

Se controló la deriva instrumental, el mismo que en el gravímetro utilizado no sube de 0.2 miligals/hora.

4.6. TRABAJO DE GABINETE

4.6.01 Ajuste de los valores de Gravedad Observados.-

Este ajuste se consigue mediante el producto de la lectura instrumental en cada estación por la constante del dial, el que se suma algebraicamente el valor de gravedad del BM IGM de la ciudad (Red Gravimétrica Nacional Instituto Geofísico del Perú).

$$\Delta G = 0.5065 \Delta SD \quad (\text{En Miligals})$$

El error de cierre de circuitos, se ha compensado linealmente, para finalmente obtener la gravedad corregida expresados en miligals.

$$\text{Error(estación)} = \frac{+ \text{ Error de Cierre}}{\text{N}^\circ \text{ Estaciones}}$$

$$\begin{array}{ccc} G & =G & +\text{CORRECCION} \\ \text{CORREGIDA} & \text{OBSERVADA} & \end{array}$$

Ejemplo de una Red de Circuito (Ver Cuadro de Ajuste de los Valores de Gravedad observados, en la sgte. página)

Así mismo se hicieron 13 circuitos más para totalizar el N° de estaciones estudiadas.

4.6.02 Cálculo de las correcciones para las anomalías al Aire Libre y Bouguer

Las gravedades observadas en cada estación, se reducen a un plano común de referencia. Es lo que se llama la gravedad referida al esferoide; siendo el esferoide*una superficie imaginaria que tiene el mismo potencial gravitatorio que la superficie media de los Océanos.

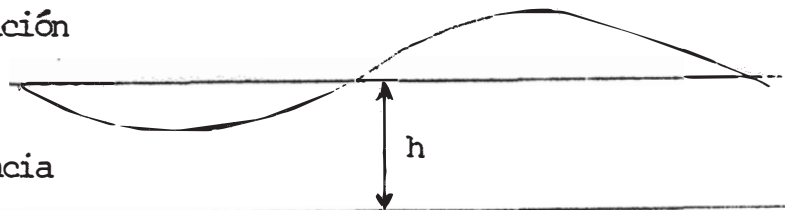
La fórmula de la gravedad referida al esferoide da el valor que debería encontrarse en un punto cualquiera si la tierra tuviese la forma de un esferoide perfectamente uniforme ajustado lo más posible al nivel del mar. Los continentés estarían enrasados al nivel del mar y las cuencas oceánicas rellenados con tierra hasta el mismo ni

* Aunque la superficie de referencia más exacta semeja más a un esferoide que a un elipsoide de revolución, este último es más conveniente, para muchos casos, ya que implica menos constantes.

vel. Más aún, la distribución vertical de la densidad sería la misma en todas partes. Actualmente la mayor de las observaciones de la gravedad se hacen por encima del nivel del mar en una superficie que esté lejos de ser plana. Así, pues, resulta necesario hacer las correcciones a la gravedad observada basándose en la topografía, y deducir la gravedad que resultaría en las condiciones artificiales que se han indicado antes. Tres correcciones son necesarios cada una de ellas corresponde a una de las que se hacen en las reducciones de prospección gravimétrica.

Nivel de la Estación
de Observación

Nivel de Referencia
(Del Mar)



Las correcciones reducen la gravedad a este punto

4.6.02.1 Corrección de Aire Libre.-

La estación representada a una altitud (h) sobre el nivel del mar, está a una distancia (R + h) más alejada del centro de la tierra que otra estación que estuviera al nivel del mar. Puesto que la masa de la tierra se puede considerar concentrada en su centro, la ley de los cuadrados inversos nos dice que la atracción de la tierra a un altitud (h) será:

$$\frac{R^2}{(R + h)^2} g_0$$

donde (g_0) es el valor al nivel del mar, y (R) el radio de la tierra. La diferencia de gravedad entre los dos niveles será:

$$g_0 - \frac{R^2}{(R+h)^2} g_0 = g_0 \left[1 - \frac{R^2}{(R+h)^2} \right] =$$
$$= \frac{2 g_0 h R + g_0 h^2}{(R+h)^2}$$
$$\approx \frac{2 g_0 h}{R}$$

puesto que $h \ll R$. Sustituyendo g_0 por 980, y R por 6378Kms. llegamos a la corrección de:

$$G' = 0.3086 (h) \text{ miligales/metro}$$

Esto se denomina la corrección al aire libre, por que no se tiene en cuenta la atracción de ningún material, situado por encima del nivel del mar. Esta corrección se añade a la gravedad observada.

4.6.02.2 Corrección de Bouguer*

Esta corrección tiene en cuenta la atracción del material rocoso, situado entre el nivel del mar y la estación situada a la altitud (h). Se basa en la hipótesis de que la superficie de la tierra es horizontal en todas partes. (paralela al geoide) a una distancia (h) por encima del nivel del mar. Las montañas que sobresalen de éstas superficies horizontal imaginaria, y los valles que quedan

* Toma su nombre de Pierre Bouguer, que dirigió la expedición de la Real Academia Francesa para medir la longitud, de un grado de Latitud en el Perú.

por debajo falsean esta hipótesis, pero su efecto gravitatorio se compensa por la corrección topográfica, subsiguiente.

El cálculo de la atracción en miligales de una capa infinita de espesor (h) es la siguiente:

$$G'' = 2\pi \cdot \gamma \cdot \sigma \cdot h$$

donde:

G'' = Corrección de Bouguer

γ = Constante gravitatoria universal

$$6.67 \times 10^{-8} \text{ cm-gr-seg.}$$

σ = Densidad media general de la rocas de la corteza 2.67 g/cm^3

Luego:

$$G'' = 0.1118 \text{ miligales/metro.}$$

Esta corrección se sustrae porque en realidad estamos eliminando el material situado entre el nivel del mar y el nivel de la estación; es decir eliminar el efecto gravitatorio del estrato entre la estación y la superficie de referencia.

4.6.02.3 Corrección topográfica.-

Esta corrección tiene en cuenta la atracción de las masas situadas por encima de la estación, y corrige también las depresiones situadas por debajo del nivel de la

estación que hacen incorrecta la hipótesis de Bouguer. Puesto que la atracción de las masas más altas se ejerce por encima de la estación y se opone a la gravedad, se le suma a la gravedad observada para anular su efecto. De la misma manera, la atracción del material que ocupa el valle inferior a la estación se debe restar de la corrección de Bouguer. Puesto que éste material no existe realmente, debemos sumar su atracción para compensar lo que fue sustraído al hacer la corrección de Bouguer. Por tanto, la corrección topográfica, se suma siempre tratase de una montaña, o de un valle.

Sería muy difícil calcular, analíticamente la atracción de éstas formas topográficas, pero utilizando plantillas especiales como las que idearon por primera vez Hayford y Bowie se puede dividir toda la superficie de la tierra en zonas o compartimientos, cada cual con una contribución conocida por unidad de elevación media. Cuanto mayor es la distancia a la estación, mayor es la zona de igual efecto topográfico. La corrección total se obtiene sumando las contribuciones de cada compartimiento hasta una distancia en la que el efecto se hace insignificante. El procedimiento patrón es suponer un plano transparente de las zonas sobre un mapa de curvas de nivel del área que rodea a la estación. La elevación media dentro de cada compartimiento de la plantilla se determina por

lectura y se sustrae la altitud de la estación. La diferencia se multiplica por un factor que depende de la esca la del plano.

Resumiendo la corrección topográfica corrige la atracción de la masa situada por encima de la estación y compensa las depresiones situadas por debajo del nivel de la misma.

El procedimiento consistió en utilizar la plan tilla de Hammer, alcanzando un radio de 2.6 Kms. y de sus tablas preparados para una densidad promedio de 2.0.

Superponiendo la plantilla en un mapa de curvas de nivel del área que rodea la estación. Las elevaciones medias de cada compartimiento se determina por lectura, su trayéndose la altura de la estación. Las diferencias encontradas son comparadas con las dadas en la tabla de Ham mar (Dobrin, 1961) que da directamente la atracción topográfica correctiva (Ver Bibliografía N° 3).

4.6.03 Anomalías.-

Se denomina anomalía gravitatoria a la diferencia que existe entre el valor de la gravedad corregida y el valor teórico de la gravedad en el esferoide para la la titud y la longitud de la estación. El tipo de anomalía, depende de las correcciones que se hayan hecho al valor ob servado:

- De Aire Libre
- De Bouguer.

6.03.1 Anomalía de Aire Libre. Está dada por la siguiente expresión:

$$(Gravedad observada + corrección al Aire - Gravedad teórica)$$

Si la topografía sobre el nivel del mar fuera hueca (de modo que las correcciones de Bouguer y topográfica serían cero), y si la tierra estuviera homogéneamente debajo del nivel del mar, la anomalía del aire libre sería cero.

6.03.2 Anomalía de Bouguer

Esta anomalía puede ser hallada si se han aplicado las correcciones de aire libre, Bouguer y topográfica y está dada por la siguiente expresión:

$$(Gravedad observada + Corrección al aire - Corrección de Bouguer + Corrección topográfica - gravedad teórica).$$

Esta anomalía sería nula si la densidad de las rocas por debajo del nivel del mar variase con la profundidad exactamente lo mismo en todas partes. Una anomalía de Bouguer distinta de cero puede indicar un exceso o dé-

ficit local. de la densidad por debajo del nivel del mar, o puede indicar que la densidad real por encima del nivel del mar, es distinta de la que se ha supuesto al elegir la constante para hacer la corrección de Bouguer.

4.6.04 Gravedad Teórica.-

Hasta la introducción (hace mas de medio siglo) de péndulos apropiados para medir la aceleración de la gravedad en el campo, se había descrito la forma de la tierra por una fórmula que relaciona la gravedad observada con la longitud y latitud. La forma general de la variación de la gravedad en un esferoide triáxico se expresa por la fórmula siguiente:

$$g = g_0 \left[1 + C_1 \text{Sen}^2 \vartheta - C_2 \text{Sen}^2 2\vartheta + C_3 \text{Cos}^2 \vartheta (\text{cos } 2(\lambda + C_4)) \right]$$

en la que:

g = valor de la gravedad en un punto cualquiera de la superficie del esferoide de referencia.

g_0 = Valor de la gravedad en el Ecuador y en la longitud $(180^\circ - C_4)$

ϑ = Latitud

λ = Longitud

C_1, C_2, C_3 y C_4 = Constantes que dan la medida de la forma verdadera de la tierra.

* Se dice esferoide triáxico para designar un elipsoide de revolución modificado (por efectos secundarios) por depresiones a lo largo de las dos líneas de latitud 45° y también por un achatamiento y abultamiento del Ecuador.

CONSTANTES PARA DIVERSOS ESFEROIDES DE

REFERENCIAS

ESFEROIDE	G_0	C_1	C_2	C_3	C_4
Internacional 1930	978.0490	0.0052884	0.0000059	-----	---
Heiskanen 1938	978.0524	0.0052970	0.0000059	0.0000276	25°

A partir de ellos se puede determinar la excentricidad de la tierra y la distorsión del Ecuador. Los valores de las "C" se ajustan para dar la máxima aproximación a las observaciones de la gravedad en toda la tierra. A medida que el número de datos aumenta, las revisiones sucesivas de las constantes llevan a aproximaciones cada vez mayores del esferoide que dan a la imagen más aproximada del geoide.

Para Huaraz cuyo paralelo es 09°31' 20" Latitud Sur, la gravedad teórica dada por la tabla "Theoretical Gravity at Sea Level for each minute of Latitude" by "The International Formule" del año 1930.

$$g = 978.0490 (1 + 0.0052884 \text{ Sen}^2 9^\circ 31' 20'' - 0.0000059 \text{ Sen}^2 19^\circ 02' 40'')$$

$$g = 980.63227192 - 2.58615717 \text{ Cos } 19^\circ 02' 40'' + 0.0028852446 - \text{Cos } 38^\circ 03' 20''$$

$$g = 978,189.47 \text{ Miligals.}$$

4.6.05 Errores Aceptables

Error máximo estimado de valores gravimétricos
 + 0.17 miligals.

- Error de lectura instrumental	0.05 miligals
- Error de corrección de altura por topografía	0.05 miligals
- Error de corrección topográfica	0.05 miligals
- Error por deriva instrumental	<u>0.02 miligals</u>
Máximo error absoluto	<u><u>0.17 Miligals</u></u>

4.6.06 Geología de la zona.-

El mapa geológico estructural y estratigráfico ha sido levantado en el área de 120 Km² a escala 1/25000 delimitando formaciones rocosas, estructuras y efectos sísmicos, post-sismo, éstos estudios han llevado a la conclusión de que el área de la Ciudad de Huaraz, está íntegramente rodeada por derrames, brechas y tufos volcánicos; de composiciones variadas, dacítica y riolítica; aunque, también se presentan andesitas porfiríticas y se considera el basamento.

Se observa que el área urbana y sub-urbana de Huaraz, está sometida, a las acciones de la evolución geomórfica, cuya influencia ha sido decisiva en la destrucción de edificaciones.

En el área de estudio pueden distinguirse las unidades geomórficas siguientes:

- a.- Terraza fluviales.
- b.- Depósitos fluvio-gravitacionales

- c.- Depósitos de arcilla y arenas saturadas
- d.- Depósitos aluviónicos
- e.- Depósitos fluvio-glaciares.

Todas estas unidades geomórficas son las que conforman el relleno sedimentario-cuaternario, que supra yacen a la roca basamento.

4.7 INTERPRETACION CUANTITATIVA DEL METODO GEOFISICO INDIRECTO "GRAVIMETRIA" PARA DETERMINAR EL BASAMENTO

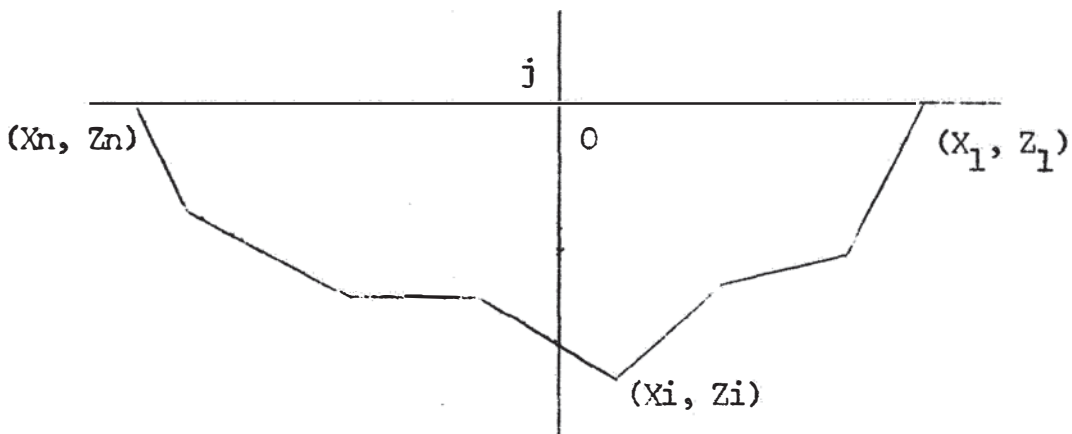
La determinación de la forma del relleno sedimentario, se hizo mediante el método de aproximaciones sucesivas. Este procedimiento consiste :

- 1.- Calcular las anomalías gravimétricas a partir de un modelo bidimensional poligonal aproximado de la forma del basamento.
- 2.- Se compara lo anterior con las anomalías observadas.
- 3.- La diferencia resultante se usa como guía para encontrar los valores que fijen el MODELO.
- 4.- Este proceso es calculado mediante el ajuste de los mínimos cuadrados.
 - Los cuales usan las derivadas parciales de las anomalías que al llevarlas al límite, las diferencias son reducidas a un mínimo.

- Esto se logra después de ejecutar varias iteraciones.
- En éste método a diferencia de las otras técnicas iterativas, la convergencia es más rápida.

Resumiendo el procedimiento consiste:

- a.- Calcular la atracción gravitatoria del modelo polígono bidimensional.
- b.- Comparar con los modelos observados.
- c.- Los valores calculados y sus derivadas parciales con respecto al espesor de los vértices son expresados en función de las coordenadas de los vértices del polígono.



Modelo Bidimensional Poligonal

Considerando "m" puntos de observación para cada perfil gravimétrico, en los cuales tendremos para cada uno de ellos, la gravedad observada, la gravedad calculada según el modelo teórico y la tendencia regional de la gravedad; entre éstos puntos podemos establecer un sistema de "m" ecuaciones del tipo.

$$g_{\text{obs.}j} = g_{\text{cal.}j} + \Delta g_{\text{cal.}j} + g_{\text{reg.}j} + \Delta g_{\text{reg.}j}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

donde:

$g_{\text{obs.}j}$ = gravedad observada en el punto j

$g_{\text{cal.}j}$ = gravedad calculada según el modelo teórico en el punto j .

$\Delta g_{\text{cal.}j}$, $\Delta g_{\text{reg.}j}$ = son términos correctivos.

La componente vertical de la atracción de un cuerpo bidimensional en el origen j , está dado por:

$$g_{\text{cal.}j} = 2G \Delta \sum_{i=1}^n Z_i$$
$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Donde:

$$Z_i = S_i / U_i (B_i V_i - A_i W_i)$$

$$W_i = Tg^{-1} (S_i / T_i)$$

$$S_i = X_i Z_{i+1} - X_{i+1} Z_i$$

$$T_i = X_i X_{i+1} + Z_i Z_{i+1}$$

$$U_i = A_i^2 + B_i^2$$

$$A_i = X_{i+1} - X_i$$

$$B_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$V_i = 1/2 \text{Ln} (R_{i+1} / R_i)$$

$$R_{i+1} = X_{i+1}^2 + Z_{i+1}^2$$

$$R_i = X_i^2 + Z_i^2$$

$$\rho = \rho_1 - \rho_2 \quad \text{gram/cm}^3 \text{ constante de densidad}$$

$$G = 6.667 \times 10^{-8} \quad \text{cm}^3/\text{gram-seg constante gravitacional}$$

Además para:

$$R_{i+1} = 0$$

$$R_i = 0$$

Tenemos que:

$$g_{\text{cal.}j} = 0$$

El perfil gravimétrico completo para cada uno de los puntos de observación(j) se obtiene desplazando el origen de coordenada a lo largo del eje horizontal $Z = 0$

La tendencia de la gravedad regional se asumirá de la forma lineal.

$$g_{\text{reg.}j} = a + bX_j$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Si los términos correctivos $\Delta g_{\text{cal.}j}$ y $\Delta g_{\text{reg.}j}$ respectivamente se tiene como primera aproximación:

$$\Delta g_{\text{cal.}j} = \sum_{i=1}^n Z_i \frac{\partial}{\partial Z_i} g_{\text{cal.}j}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Donde las derivadas parciales pueden calcularse analíticamente de la fórmula:

$$\frac{\partial}{\partial Z_i} g_{\text{cal.}j} = 2G\Delta\rho (P_i - Q_i)$$

$$P_i = \frac{S_i}{U_i} \left(\frac{X_i A_i - Z_i B_i}{R_j} - U_i \right) - (B_i V_i - A_i W_i) \frac{(X_i U_i - 2B_i S_i)}{U_i^2}$$

$$Q_i = \frac{S_{i-1}}{U_{i-1}} \left(\frac{X_i A_{i-1} - Z_i B_{i-1}}{R_i} - U_{i-1} \right) -$$

$$- (B_{i-1} V_{i-1} - A_{i-1} W_{i-1}) \frac{(X_{i-1} U_{i-1} - 2B_{i-1} S_{i-1})}{U_{i-1}^2}$$

Además para:

$$R_{i+1} = 0 \qquad P_i = 0$$

$$R_i = 0 \qquad \frac{\delta}{\delta Z_i} g_{\text{cal.}j} \text{ indefinido}$$

$$R_{i-1} = 0 \qquad Q_i = 0$$

Y para el otro término correctivo tenemos:

$$g_{\text{reg.}j} = \Delta a + \Delta b X_j$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Luego se obtiene un sistema de "m" ecuaciones con (n+2) incógnitas, Z_i ($i = 1, 2, 3, \dots, m.$), a, b, de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^n \Delta Z_i \frac{\delta}{\delta Z_i} g_{\text{cal.}j} + \Delta a + \Delta b X_j = g_{\text{obs.}j} - g_{\text{cal.}j} - g_{\text{reg.}j}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Para poder resolver el siguiente sistema de ecuaciones lineales se requiere que ($m = n + 2$). Sin embargo en la práctica es mejor que sea mayor, es decir:

$$m = n + 2$$

En éste caso el sistema de ecuaciones se resuelve por el método de mínimos cuadrados y se suavizan, errores de observación.

Considerando que la suma de los cuadrados de los residuos sea S; tendremos que:

$$S = \sum_{j=1}^m (g_{\text{obs.}j} - g_{\text{cal.}j} - g_{\text{reg.}j})^2$$

En general bastaron 2 iteraciones del procedimiento para que la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima.

El cálculo de los residuales se ha efectuado suavizando los valores observados que para un modelo simple resultaba muy complejo el cálculo. Dichos valores expresan la atracción observada del relleno, las cuales son comparadas con el modelo bidimensional teórico. Los fuertes cambios de valores en los perfiles se deben a cambios bruscos de densidad, originados posiblemente por estructuras o elementos diferentes al material aluvial generalizado que se asume para la cuenca.

Las profundidades calculadas son sólo aproximadas ya que no existe una perforación que llegue al basamento para poder controlar el cálculo. Estas profundidades generalizadas no dan una idea del basamento sobre el cual suprayacen el aluvio. (Ver Plano N° 8 y Perfiles Gravimétricos en Anexo II)

AJUSTE DE LOS VALORES OBSERVADOS DE GRAVEDAD

PAIS Huaraz GRAVIMETRO N° 619-III(Worden) CONS. DIAL. PEQ. 0.5065
 Observ. C. Perales y G. Ibarra.

CALCULADO POR A. Cáceres y G. Ibarra. FECHA 25/2/71 Rev. por Ing. E. Deza.

ESTACION DE REFERENCIA BM-W-363 A ESTACION DE REFERENCIA

ESTACION	MEDIA ΔSD	MILLIGALS Δg	GRAVEDAD OBSERVADA MILLIGALS	CORRECCION MILLIGALS	GRAVEDAD CORREGIDA MILLIGALS	OBS.
W-363			977284.180		977284.180	
Sb-HU- 89-D -	6.023	- 3.050	281.130	0.000	281.130	
HU- 89-E -	2.815	- 1.425	279.705	0.007	279.712	
HU-137-A -	5.135	- 2.600	278.530	0.015	278.545	
Sb-HU-138-A -	6.760	- 3.423	277.707	0.023	277.730	
HU-139-A -	1.665	- 0.843	276.864	0.031	276.895	
HU-147 -	3.785	- 1.917	275.790	0.038	275.828	
Sb-HU-146 -	5.430	- 2.750	274.957	0.046	275.003	
HU-145 -	2.620	- 1.327	273.630	0.054	273.684	
HU-144 -	5.335	- 2.702	272.255	0.062	272.317	
Sb-HU-194-P -	7.960	- 4.031	270.926	0.069	270.995	
HU-194-N -	2.655	- 1.344	269.582	0.077	269.659	
HU-194-N -	5.790	- 2.932	267.994	0.085	268.079	
Sb-HU-194-L -	9.555	- 4.839	266.087	0.093	266.180	
HU-194-K -	3.465	- 1.755	264.332	0.101	264.433	
Sb-HU-176-N -	7.070	- 3.580	262.507	0.108	262.615	
HU-176-P -	0.270	- 0.136	265.951	0.116	266.067	
Sb-HU-176-O -	0.575	- 0.291	262.216	0.124	262.340	
HU-176-R +	3.935	+ 1.993	264.209	0.132	264.343	
HU-176-S +	7.605	- 3.851	266.067	0.139	266.206	
Sb-HU-176-T +	8.400	+ 4.254	266.470	0.147	266.617	
B-3(Sismo) +	3.670	+ 1.858	268.328	0.155	268.483	
Sb-HU-114 +	8.250	+ 4.178	270.648	0.163	270.811	
W-363 +	26.380	+ 13.361	284.009	0.171	284.180	
					+	
				Error de Cierre= 0.171 magls.		
				E = $\frac{0.171}{22} = 0.007772$		

CALCULOS PARA ANOMALIA AL AIRE LIBRE Y BOUGUER

$G' = 0.3086 \times h$
 DENSIDAD = 2.67 g/cm^3
 $G'' = -0.1118 \times h$
 CALCULADO A. Cáceres N. y G. Ibarra M.
 FECHA 25-3-71
 REVISADO POR Ig. E. Deza.
 ESTACION GRAVIMETRICA FUNDAMEN-
 TENTAL ANTIGUO EDIFICIO DEL
 I.G.M. OFICINA DE PREENSA,
 LIMA PERU.
 $G = 978282.66 \text{ mgals (ACL)}$
 (AÑO 1966)

ESTACION	OBS.	FECHA	LAT.	LOG.	ELEVACION METROS	GRAVEDAD OBSER. MILIGALS	GRAVEDAD TEORICA MILIGALS	CORRECCION ELEVACION MILIGALS G'	ANOMALIA		OBSERVACIONES	
									MILIGALS	MILIGALS		
W-363					3023.518	977284.180	978189.47	933.058	27.768	- 338.029	- 310.261	9.37 - 309.124
89-D					3033.801	977281.130	978189.47	936.231	27.891	- 339.179	- 311.288	8.37 - 310.451
89-E					3039.016	977279.712	978189.47	937.840	28.082	- 339.762	- 311.680	8.37 - 310.843
137-A					3043.236	977278.545	978189.47	939.143	28.218	- 340.238	- 312.020	7.35 - 311.285
138-A					3045.356	977277.730	978189.47	939.797	28.057	- 340.471	- 312.414	7.35 - 311.679
139-A					3048.442	977276.895	978189.47	940.749	28.174	- 340.816	- 312.642	7.35 - 311.907
147					3052.519	977275.828	978189.47	942.007	28.365	- 341.272	- 312.907	7.35 - 312.172
146					3055.937	977275.003	978189.47	943.062	28.595	- 341.654	- 313.059	7.35 - 312.324
145					3039.977	977273.684	978189.47	944.309	28.503	- 342.105	- 313.602	7.35 - 312.867
144					3063.712	977272.317	978189.47	945.462	28.309	- 342.523	- 314.214	7.35 - 313.479
194-P					3067.607	977270.995	978189.47	946.664	28.189	- 342.958	- 314.769	7.11 - 314.058
194-N					3071.107	977269.659	978189.47	947.744	27.933	- 343.39	- 315.416	7.11 - 314.058
194-M					3075.632	977268.079	978189.47	948.140	27.749	- 343.856	- 316.107	7.11 - 315.396
194-I					3081.44	977266.180	978189.47	950.935	27.645	- 344.506	- 316.861	5.97 - 316.264
194-K					3086.727	977264.433	978189.47	952.564	27.527	- 345.096	- 317.569	5.97 - 316.972
176-N					3091.447	977262.615	978189.47	954.021	27.166	- 345.624	- 318.458	13.97 - 317.061
176-P					3092.527	977266.067	978189.47	954.354	30.951	- 345.745	- 314.794	13.97 - 313.397
176-Q					3095.218	977261.340	978189.47	955.184	28.054	- 346.045	- 317.991	13.97 - 316.594
176-R					3090.358	977264.341	978189.47	953.684	28.555	- 345.502	- 316.947	9.51 - 315.996
176-S					3085.008	977266.206	978189.47	952.033	28.769	- 344.904	- 316.135	9.51 - 315.184
176-T					3085.077	977266.617	978189.47	952.055	29.202	- 344.912	- 315.710	9.51 - 314.759

4.8. CONCLUSIONES.-

Esta técnica de determinar la profundidad del basamento rocoso ha formado parte del programa de estudios a las ciudades afectadas por el sismo último con fines de la microzonificación sísmico; su correlación con las características del subsuelo, amén de los efectos en la superficie.

Es de utilidad este estudio porque el conjunto formado por los sistemas de estratos (suelo) y el basamento rocoso, con las características promedio que los definen, constituyen el modelo dinámico de un lugar. Y se utiliza en el sentido de comparar el comportamiento del suelo en diferentes estaciones para los cuales se analiza.

Es por eso que se ha determinado la profundidad de la roca en base a una prospección gravimétrica, para diferentes áreas de la ciudad.

Se insiste en que los valores hallados de profundidad son aproximados, pues para hallar con precisión la potencia de los suelos aluviales se requieren de sondeos profundos o se verifica mediante las prospecciones sísmicas (para ajustar los cálculos gravimétricos), los que por su elevado costo no se han realizado.

Las profundidades encontradas son variables, des
de 0 - 120 mts. las más cortas corresponden a Pedregal, San
Francisco y Nicrupampa, en cambio las profundas, correspon
den al Casco Urbano (zona de mayor porcentaje de daños en
edificaciones).

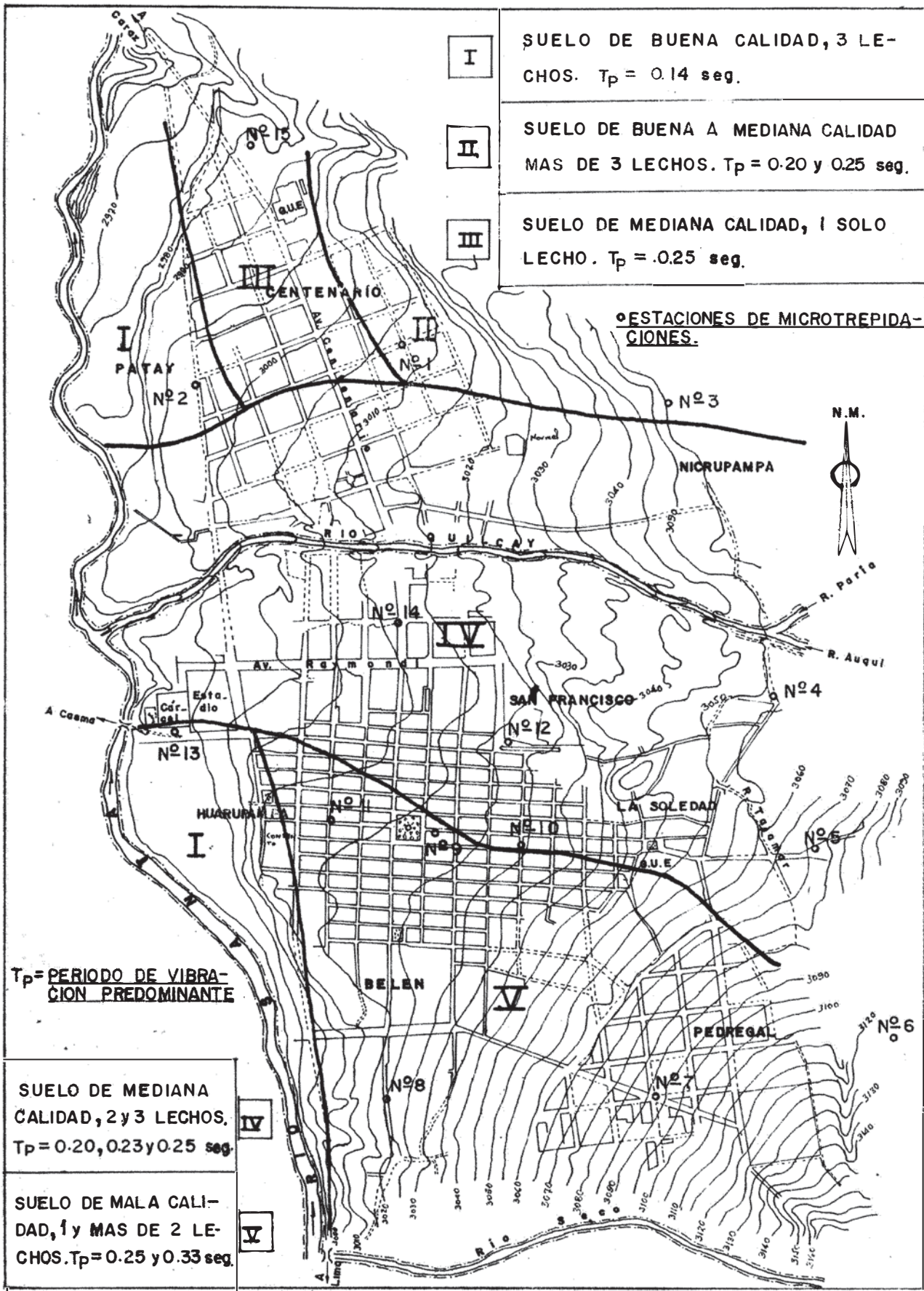
C A P I T U L O V

OBSERVACIONES DE MICROTREPIDACIONES.

5.1. INTRODUCCION:

El suelo está en constante vibración. Razón por la cual se ha llegado a establecer que sus periodos fundamentales de vibración caracterizan y definen zonas cuyo comportamiento "de los suelos que lo constituyen" conduce a la determinación del COEFICIENTE SISMICO ESTRUCTURAL. Los que sumados a los deducidos de la observación de sismos naturales, del análisis teórico de multireflexión de ondas y a los obtenidos de estudios estadísticos ayudan a conocer mejor el COMPORTAMIENTO DINAMICO DEL SUELO.

Este comportamiento diferencial del suelo se pone de manifiesto como resultado de la EVALUACION DE DAÑOS en estructuras por efecto de un sismo (terremoto).



- I
- II
- III

SUELO DE BUENA CALIDAD, 3 LECHOS. $T_p = 0.14$ seg.

SUELO DE BUENA A MEDIANA CALIDAD MAS DE 3 LECHOS. $T_p = 0.20$ y 0.25 seg.

SUELO DE MEDIANA CALIDAD, 1 SOLO LECHO. $T_p = 0.25$ seg.

ESTACIONES DE MICROTREPIDACIONES.



$T_p =$ PERIODO DE VIBRACION PREDOMINANTE

SUELO DE MEDIANA CALIDAD, 2 y 3 LECHOS. $T_p = 0.20, 0.23$ y 0.25 seg.

SUELO DE MALA CALIDAD, 1 y MAS DE 2 LECHOS. $T_p = 0.25$ y 0.33 seg.

ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA "C R Y R Z A"

CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE
TESIS DE GRADO

FUENTE: D. I. G. "C R Y R Z A"

MAPA DE
MICROTREPIDACIONES

DPTO. ANCASH ESC. 1/16,000

PROV. HUARAZ FECHA. NOV. 1972

PLANO
Nº
9

Así, para estructuras de la misma calidad resultaban desi
gualmente dañadas y con zonas bastantes limitadas. Suce-
de que este comportamiento del suelo es diferente en par-
te por la variabilidad de sus propiedades físicas en cada
zona.

Los diferentes modos de vibración nos darán a co
nocer el suelo, su naturaleza y sus condiciones de yacen
cia. Para lo cual se hará un análisis de las curvas FRE-
CUENCIAS - PERIODO de un determinado lugar. Estas curvas
se obtienen de las medidas hechas en el campo de la VIBRA
CION DEL SUELO.

Las conclusiones de los estudios de vibración
del suelo quedan expuestos en las curvas frecuencia - pe-
ríodo para cada punto de observación y el plano de MICRO-
TREPIDACION DEDUCIDO .(Ver Plano N° 9)

5.2. EQUIPO UTILIZADO Y METODO DE OBSERVACION

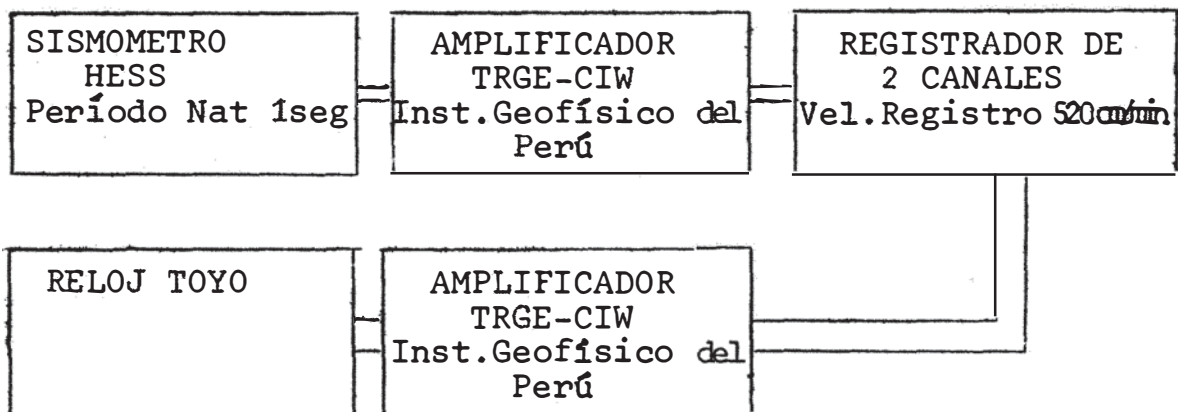
5.2.01 Instrumentación.-

El instrumental utilizado en la medida de la
vibración del suelo es de tipo portátil, utilizado en pro
porción sísmica ha sido proporcionado por los Departamen-
tos de Sismología del Instituto Geofísico del Perú y de
la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Las
características son la siguientes:

- Un sismómetro Hess (Geófono) a período corto ($T_0 = 1.0$ segundo) - Un amplificador transistorizado TRGE-CIW - un reloj electrónico con cristal de cuarzo marca TOYO y un registrador portátil de dos canales, uno para el registro de la vibración natural del suelo y el restante para introducir marcas de tiempo (segundos) necesarios para el análisis.

La velocidad de desplazamiento del registrador es del orden de 9 mm/seg., el filtro utilizado es de 1.2 cps y la ganancia del amplificador, variable de acuerdo al lugar de observación.

DIAGRAMA DEL EQUIPO DE MICROTREPIDACION



5.2.02 Trabajo de Campo

El procedimiento empleado para la observación consistió, en primer término, ubicar sobre un plano catastral, los lugares de observación tratando de distribuirlos regularmente.

Seguidamente se procedió a un reconocimiento diurno de los sitios elegidos. Y a la ubicación definitiva de los puntos de medida. (Ver Plano N°9, para la ubicación de los puntos).

Las observaciones se hicieron durante la noche y por la madrugada para evitar la interferencia originada por el tráfico de vehículos y el tránsito de peatones. El tiempo mínimo de registro útil fue de dos minutos para lo que se necesitó la permanencia de la brigada, en cada punto, de aproximadamente 15 minutos en promedio.

5.2.03. Trabajo de Gabinete.

El análisis del informe recogido, se hizo en el gabinete, trazando una línea de base a lo largo y por el centro del tren de ondas. Se proyectaron sobre esta línea en forma perpendicular las marcas de tiempo y se procede a contar el número de veces que en el intervalo de un segundo, la onda cortaba la línea de base, obteniéndose de esta manera el número de ciclos en segundos para luego calcular el período medio de vibración a cada segundo.

Con los períodos medios obtenidos se construyó las curvas FRECUENCIA - PERIODO. (Ver Anexo III).

5.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS.

La observación de microtrepidación programada por la Sub-Comisión-Técnica de CRYRZA para Huaraz, se circunscribió a la medida de 15 puntos ubicados cubriendo el área urbana y sus alrededores. El número de puntos no pudo ser mayor, como se había planeado en el laboratorio, debido a la dificultad ofrecida por los escombros que cubrían la casi totalidad del área relevada.

Las curvas de frecuencia-período permiten deducir que el área presenta modos de vibración que van desde períodos cortos: 0.10 seg hasta períodos largos del orden de 0.50 seg. De otro lado, de las formas de estas curvas y de la presencia de sus picos conspicuos, se puede inferir que la yacencia del suelo y subsuelo es de forma estratificada en su mayor parte, presentando hasta 3 lechos fundamentales con propiedades físicas, variables; excepción hecha de las correspondientes a los puntos 7 y 15 muestran un solo pico fundamental. En cuanto a su compacidad se puede indicar que grada, desde bastante a poco consolidado.

Como consecuencia de las características observadas se puede establecer que en el área de Huaraz se pueden distinguir 5 tipos de suelos:

TIPO I

Suelo caracterizado por un período fundamental de vibración igual a 0.14 segundos y con modos complementarios cuyos valores son 0.10, 0.17 y 0.16 segundos.

Este tipo se extiende prácticamente a lo largo de la terraza 1, que se levanta sobre la margen derecha del río Santa, ocupando los barrios de Patay y Huarupampa. Queda interrumpido en el sentido longitudinal por el tipo IV que se desplaza siguiendo la dirección del Río Quilcay.

Las curvas de frecuencia por el número de sus picos acusan la presencia de hasta 3 lechos con propiedades físicas casi similares.

Sísmicamente es de buena calidad.

TIPO II

Presenta períodos fundamentales de vibración iguales a 0.20 y 0.25 segundos y como secundarios 0.17 y 0.33 segundos. Se ubica al Norte del Barrio de Nicrupampa y al Este de Centenario. Se manifiesta, por el número de picos de sus curvas de frecuencia-período, estratificado con probablemente 3 lechos fundamentales que varían horizontalmente en forma compleja .

Es menos consolidado que el tipo I y se halla representado por los puntos 1 y 3, mostrándose éste último como transicional entre este tipo y el IV.

Sísmicamente es de buena a mediana calidad.

Se esperan amplificaciones, mayores que el suelo anterior para ondas sísmicas que vibran con períodos iguales a sus fundamentales. Pueden esperarse resonancia para sismos fuertes de magnitud mayor que 6.00 con epicentro cercano.

TIPO III

Caracteriza a este suelo el punto 15, cuyo período fundamental de vibración es de 0.25 seg. Se distingue ocupando casi la totalidad del barrio de Centenario y se halla circunscrito entre los tipos I por el Oeste, por el suelo II por el Este y por el Sur con el tipo IV. Parece estar constituido por un solo lecho fundamental, consolidado.

Sísmicamente es de mediana calidad y se halla expuesto a fenómenos de resonancia para eventos sísmicos con magnitud igual o mayor que 6.0 y cuyo modo de vibración sea igual a 0.25 seg.

TIPO IV

Los modos de vibración son bastantes variables.

Caracterizan a este suelo los períodos fundamentales de 0.20, 0.23 y 0.25 seg. y complementario de 0.16 seg.

El punto ubicado dentro de este tipo muestra un período contradictorio de 0.14 seg. probablemente por hallarse cerca a la roca de basamento del lugar.

Este suelo se halla distribuido a lo largo de una gran extensión del área medida, a ambos lados del río Quilcay y ocupando los barrios San Francisco, Nicrupampa y la Soledad.

Se presenta un tanto menos consolidado que el tipo anterior con más de dos lechos.

Se le puede considerar como transicional con el tipo V en razón a la graduación de sus períodos de medios a largos .

Se le puede inferir la presencia de más de dos lechos menos consolidados y con propiedades físicas variables en relación a los tipos II y III.

Sísmicamente es de mediana calidad y se espera amplificaciones mayores que los tipos precedentes y fenómenos de resonancia para sismos próximos con magnitud mayor que 6.0.

TIPO V

Dentro del conjunto de suelos descritos anteriormente, resalta este tipo por su tendencia hacia los períodos largos del orden de 0.50 seg.

Como períodos fundamentales de vibración se anotán 0.25 y 0.33 seg., y se halla materializado por los puntos 7, 8, 9 y 10.

Ocupa al igual que el anterior, gran extensión comprendiendo los barrios de Belén y Pedregal.

Acusa en su parte central y en dirección hacia el Este la probable yacencia en un lecho a diferencia del resto que por el número de picos de sus curvas frecuencia-período parecen estar conformados hasta 3 lechos.

Son pocos consolidados, sueltos, por lo que se le considera desde el punto de vista sísmico como de mala calidad.

Habrán amplificaciones ante un evento sísmico y se espera resonancia para sismos con epicentro cercano y con magnitud igual ó mayor que 6.0.

RESUMEN DE LAS OBSERVACIONES DE MICROTREPIDACIONES

Tipo de Suelo	Modos de Vibración en segundos	Características
I	0.14 ^x , 0.10, 0.17 y 0.16	Suelo de buena calidad, bien consolidado, estratificado con probablemente tres lechos similares en sus propiedades físicas.
II	0.20 ^x , 0.25 ^x , 0.17 y 0.33	Suelo de buena a mediana calidad, menos compacto que el suelo I, estratificado, más de tres lechos con variación horizontal compleja. Se espera ampliificaciones mayores que el anterior para ondas sísmicas con períodos fundamentales similares. Entrará en resonancia para sismos de magnitud 6.0 próximos.
III	0.25 ^x	Suelo de mediana calidad, consolidado, constituido por un sólo lecho. Se espera fenómenos de resonancia para sismos próximos con magnitud mayor que 6.0.
IV	0.20 ^x , 0.23 ^x y 0.25 ^x 0.16 y 0.12	Suelo de mediana calidad, menos consolidado que el anterior, presenta 2 y 3 lechos con propiedades físicas variables. Sus ampliificaciones corresponden a períodos de ondas similares a sus fundamentales. Sismos de magnitud igual a 6.0 producirá resonancia.
V	0.25 ^x y 0.33 ^x 0.50	Suelo de mala calidad, poco consolidado, suelto, con probablemente un lecho en su parte central y más de 2 en sus alrededores. Variables en sus propiedades físicas; introducirá bastante ampliificación a las ondas sísmicas y entrará en resonancia para sismos próximos con magnitud de 6.0.

^xPeríodo Fundamental.

5.4 CONCLUSIONES.

1.- El área de Huaraz presenta gran variabilidad en cuanto a la calidad de su suelo de fundación.

- Se ha establecido la presencia de 5 tipos con propiedades físicas diferentes y con modos de vibración fundamental que van desde 0.14 a 0.33 segundos y complementario que llegan hasta alcanzar valores que correspondan a períodos largos del orden de 0.50 segundos,

- Los suelos se presentan estratificados en su mayor parte con excepción hecha del correspondiente al tipo III que parece yacer conformado un solo lecho.

2.- Sísmicamente los suelos gradan desde buena a mala calidad .

- Corresponde a los de mejor condición a los ubicados en la parte Norte de la Zona medida, esto es a los barrios de Patay y Centenario, excepción hecha del barrio de Huarupampa, ubicado al Sur; cuyos períodos predominantes cortos son manifiestos en relación con los restantes suelos que ocupan la mayor parte del área, esto es el sur-este de la misma.

3.- En general las amplificaciones que éstos suelos introduzcan a un evento sísmico será más manifiesto para vi

braciones similares a las fundamentales y para los que están dentro del rango de períodos medios a largos.

- Se espera además, fenómenos de resonancia para los tipos II, III, IV y V en relación con sismos con epicentro próximo y con magnitudes iguales ó mayores que 6.0.

C A P I T U L O VI

EVALUACION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES

6.1 INTRODUCCION

La Ciudad de Huaraz fue una de las Zonas más afectadas por el sismo del 31 de Mayo de 1970, uno de los más violentos de la década, pues lo dejó parcialmente destruída; cuatro meses más tarde se destacaron Brigadas de Inspección para realizar los estudios necesarios y determinar la Micro-zonificación Sísmica de ésta Capital. Una de estas brigadas fué la de "Evaluación de Daños".

El período de estudio de Evaluación de Daños fue de un mes, del 19 de Octubre al 19 de Noviembre; comprendiendo los siguientes barrios:

- 1.- El Cementerio
- 2.- Patay

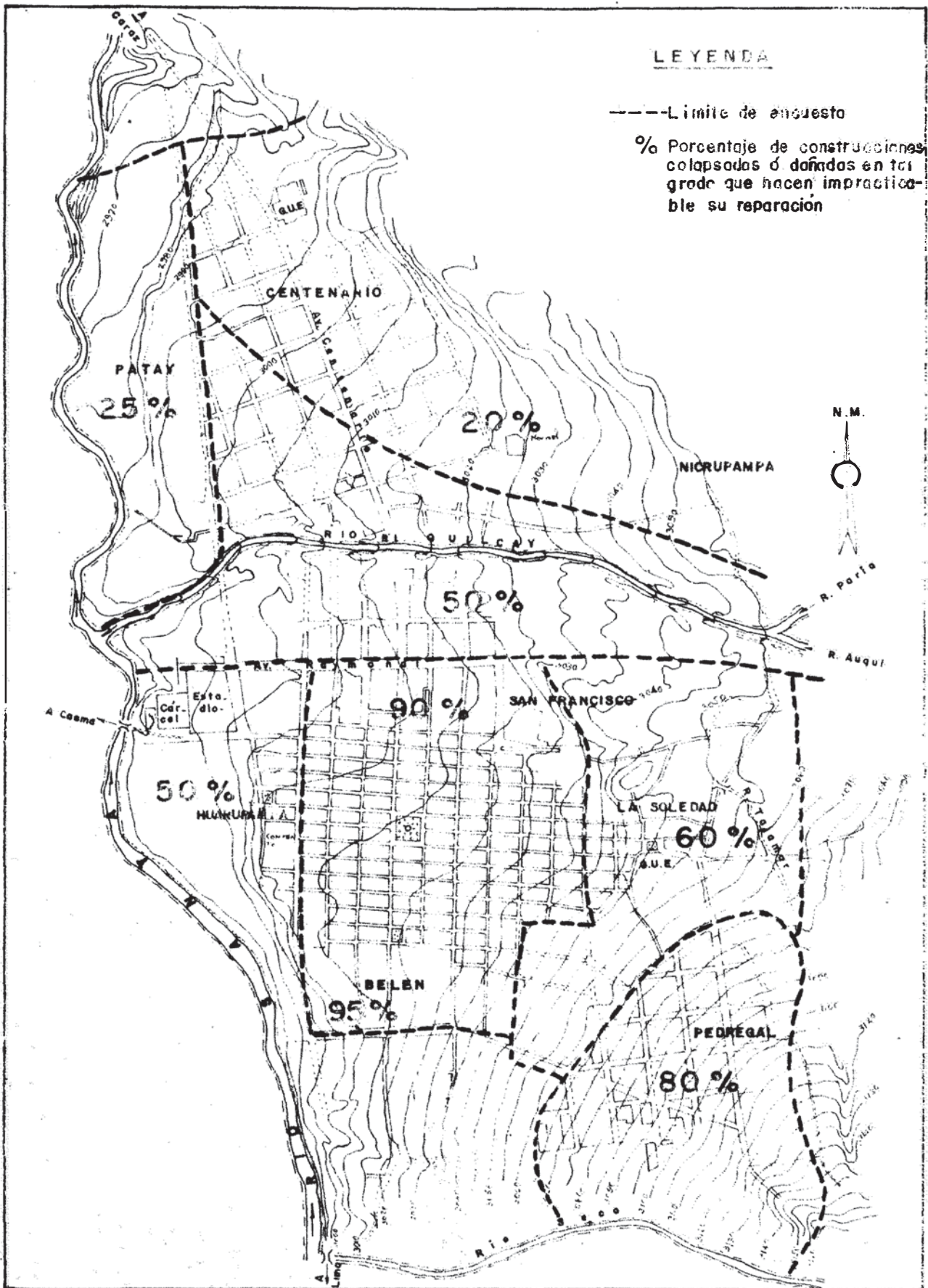
- 3.- San Francisco
- 4.- La Soledad
- 5.- Huarupampa
- 6.- Belén
- 7.- El Pedregal
- 8.- Bellavista
- 9.- Nicrupampa
- 10.- Sector Aluvional

A excepción de los barrios nuevos (Centenario, Pedregal), la arquitectura es netamente colonial, cuyas calles son angostas, las características más saltantes de estos barrios es que en su mayoría las edificaciones son de adobe ò de ladrillo sin columnas.

Al final se ha hecho un resumen, constando para cada barrio el N° de manzanas, al tipo de edificación en porcentaje, número de pisos por cada edificación también en porcentaje, y los daños según sea, que no haya fallado la edificación (fácilmente reparable) ó que hayan colapsado, (costosamente reparable), también en porcentaje.

6.2 METODOLOGIA SEGUIDA

El método que se siguió para la presente evaluación de daños fue la siguiente: Se confeccionaron unos formularios preparados especialmente, y que están constituidos por tres partes principales:



ESTUDIO: SUB COMISION TECNICA "CRYZA"		CIRILO GRIMALDO ARMAS AGUIRRE	
FUENTE: D. I. G. "CRYZA"		TESIS DE GRADO	
D.P.T.O. ANCASH	ESC. 1/16,000	DISTRIBUCION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES	PLANO Nº 10
PROV. HUARAZ	FECHA. NOV. 1972.		

PRIMERA PARTE.- Consiste en datos de las edificaciones tales como: su uso, su tipo de relleno que está constituida, tipo de estructura de la edificación, su cimentación, el número de pisos, el área que ocupa y la altura de la edificación.

SEGUNDA PARTE.- Consiste en el resumen de daños: sus causas, porcentajes y los tipos de fallas de cada edificación. Además se anotaban los asentamientos, inclinaciones, así como daños en elementos no estructurales.

TERCERA PARTE.- Consiste en las informaciones de suelo, sus características constituyentes, la profundidad del nivel freático perteneciente a la edificación encuestada.

En todos los barrios encuestados, se llenaron un formulario por cada edificación a excepción de los barrios como el de San Francisco, que tenían manzanas integrantes falladas, en el que se llenaban dos o tres encuestas por manzana totalmente destruidas, En total se ejecutaron 1,526 encuestas, que luego se procesaron en una computadora I.B.M 1130, con la cual se han sacado algunas conclusiones importantes conjuntamente con la inspección ocular realizada (Ver plano N° 10).

RESUMEN DE EVALUACION DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE HUARAZ

BARRIO	Nº DE MANZANAS	TIPO DE MATERIAL EMPLEADO (EN %)			NUMERO DE PISOS (EN %)			INTENSIDAD DE DAÑOS (EN %)		OBSERVACIONES
		ADOBE	LADRILLO %S COLUMNA	CONCRETO ARMADO	DE UN PISO	DE DOS PISOS	DE TRES PISOS	COLAPSO NO REPARABLE O COSTOSA REPARACION	NO HAY DAÑOS O FUE FACILMENTE REPARABLE	
CENTENARIO	54	85 %	10 %	5 %	10 %	90 %	—	20 %	80 %	CALLES ANCHAS Y EN EXPANSION
PATAY	7	100 %	—	—	40 %	60 %	—	25 %	75 %	CALLES ANCHAS Y EN FORMACION
SAN FRANCISCO	23	95 %	4 %	1 %	20 %	50 %	30 %	95 %	5 %	CALLES ESTRECHAS Y DENSA CONSTRUCCION
LA SOLEDAD	34	95 %	45 %	0.5 %	50 %	50 %	—	60 %	40 %	CALLES ESTRECHAS, CONSTRUCCION DENSA HACIA LA PLAZA DE ARMAS
HUARUPAMPA	23	85 %	10 %	5 %	20 %	60 %	20 %	50 %	50 %	CALLES ESTRECHAS, CONSTRUCCION DENSA HACIA LA PLAZA DE ARMAS
BELEN	36	90 %	5 %	5 %	10 %	90 %	—	95 %	5 %	CALLES ESTRECHAS Y CONSTRUCCION DENSA
PEREGRAL	28	97 %	3 %	—	100 %	—	—	80 %	20 %	CALLES AMPLIAS POCO DENSA
NICUPAMPA	4	100 %	—	—	100 %	—	—	20 %	80 %	CALLES ANCHAS, CONSTRUCCION DENSA EN CALLES PRINCIPALES, NO FIGURA EN EL PLANO DE HUARAZ
BELLAVISTA	4	100 %	—	—	60 %	40 %	—	80 %	20 %	CALLES ANCHAS, CONSTRUCCION DENSA EN LA CALLE PRINCIPAL
SECTOR ALUVIONAL	24	95 %	5 %	—	50 %	50 %	—	50 %	50 %	ZONA DE CONSTRUCCION SEMI-DENSA

NOTA: PARA LOS BARRIOS INTEGRALMENTE FALLADOS, SOLAMENTE SE HIZO DOS O TRES ENCUESTAS POR MANZANA

* EL MANZANERO NO FIGURA EN EL PLANO DE HUARAZ

CIRILO ARMAS AGUIRE

TESIS DE GRADO

FECHA NOV. 1972

6.3 CAUSA DE LOS DAÑOS PARA CADA TIPO DE EDIFICACION

Las edificaciones (en general) de la ciudad, son del tipo vivienda unifamiliar y su estructura varía desde el adobe, ladrillo sin columna, ladrillo con columnas, a concreto armado; en éste último caso existen edificaciones hasta de 4 pisos.

Así mismo se expondrán las causas principales de los colapsos y daños sufridos en las edificaciones levantadas en los diversos tipos de material usado. Para análisis de daños por barrios se ha confeccionado un resumen que también se incluye en el presente trabajo.

6.3.01 CASAS DE ADOBE EN GENERAL

La mayoría de las casas en Huaraz, son de adobe con cimentación o base de piedra y barro; siendo el adobe que se usa de diferentes calidades y tamaño, la altura de las viviendas que se consigue con este tipo de material llegan hasta los 10.00 metros.

Debido al clima del lugar y por las lluvias, la mayoría de viviendas con adobe tienen un semipiso en la parte superior que lo utilizan como depósitos de granos llamados "COLCAS".

El techo es de caña y barro, suspendido por durmientes (lease vigas), generalmente de madera de eucalip-tos, que se apoyan en los muros.

Con respecto a las causas de los daños, son muchos los factores que redundaron en el colapso de la mayoría de viviendas con éste tipo de edificación y si no colapsaron hubo una gran magnitud de daños.

A todo esto contribuye la estrechez de calles en algunos barrios (antiguos), las diferentes alturas entre edificaciones contiguas, para cuyo impacto el adobe no tiene resistencia; causando de ésta manera un gran número de víctimas.

A continuación se presenta un resumen de daños cuyas causas se enumera:

- 1.- La preparación del adobe no fue adecuada, siendo por lo tanto dichos adobes poco resistentes por la deficiente dosificación del barro usado.
- 2.- Falta de simetría en planta de la distribución de muros.
- 3.- Aberturas grandes en los muros de fachadas.
- 4.- Falta de arriostre de los muros en las esquinas
- 5.- El amarre imperfecto de los adobes al levantar el muro
- 6.- No se colocaba mezcla de barro en las juntas verticales.

- 7.- No se respetaban el avance óptimo del muro respectivo al número de hilados colocadas y se producían aplastamiento en las hiladas inferiores.
- 8.- No se respetó la relación altura de muro respecto a ancho de muro.
- 9.- Las edificaciones no poseían vigas, collares ni contrafuertes en los muros.

6.3.02 CASAS DE LADRILLO SIN COLUMNAS

Las viviendas con éste tipo de material tienen la cimentación de concreto ciclópeo ó de piedra y barro. Los elementos estructurales son los muros de albañilería de cabeza ó de soga, cuyo ligante es de mortero de cemento y arena(ó de barro).

El techo ha sido generalmente de caña y barro , colcados sobre unos durmientes de madera que descansan directamente en los muros de ladrillo portante, también los hay de aligerado.

En éste tipo de edificaciones se produjeron gran porcentaje de daños debido a los defectos siguientes:

- 1.- Falta de simetría con respecto a los ejes principales del área construída para cada edificación. Además de que la distribución interna de la tabiquería, tampoco es simétrica con respecto a los ejes mencionados.

- 2.- Falta de conocimientos de arquitectura.
- 3.- Aberturas grandes en las fachadas (puertas y ventanas) cuyas fallas se produjeron en los vanos donde el empleo del dintel es deficiente y además no se usaron los collarines.
- 4.- Deficiencia de amarre entre los muros, sin ningún criterio de distribución.
- 5.- Los muros de ladrillo no se levantaron respetando su verticalidad.
- 6.- Combinaciones en más de uno, los materiales utilizados como tabiquería. Así en los muros de ladrillo se utilizaron, adobes, ladrillos rotos.

En general éste tipo de construcciones y de adobe, son las que han sufrido mayor porcentaje de daños debido a la falta de criterio y asesoría técnica, en la construcción.

6.3.03 CASAS DE LADRILLO CON COLUMNAS

Para éste tipo de edificación la cimentación usada ha sido la de concreto ciclópeo con piedra, especialmente granito aluvional, conglomerados de las terrazas fluviales del Río Santa, en general la piedra no es chancada.

Los muros de ladrillos están amarrados de cabeza ó soga, siendo el ligante mortero de cemento y arena.

Las columnas utilizadas como amarre, son de concreto armado que en muy pocos casos han sido vaciados monolíticamente con el muro.

El techo es de losa aligerada.

La mayoría de edificaciones con éste tipo de material usado, han sido destinados a viviendas unifamiliares.

Con respecto a los daños, éste tipo de edificaciones, son las que menos fallas han sufrido, ya que en la mayoría de ellos han habido buen criterio en su diseño y construcción.

En muchas de las edificaciones ha dependido de su ubicación estratégica de columnas, para que los daños causados por el sismo, sean de menor importancia.

Las causas por las que fallaron muy pocas edificaciones han sido por:

- 1.- Por tener como elementos constituyentes de su cimentación: piedras y barro.
- 2.- Las columnas están mal dispuestas, cuya planta es irregular.
- 3.- Combinación de muros de ladrillo con adobe o partes de la casa, con ladrillo con columnas y la otra con ladrillos sin columnas.

6.3.04 EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO

En éste tipo de estructura solo se han realizado edificaciones de uso público.

Generalmente las cimentaciones han sido de zapatas aisladas y cimientos corridos de concreto ciclópeo para los muros de ladrillo.

La estructura es a base de pórticos de concreto armado, cuyos elementos de relleno utilizados, han sido los muros de ladrillo.

El techo en todos los casos ha sido aligerado, y sobre éste tenemos el sobretecho a una o dos aguas, de eternit o calamina que descansa generalmente sobre un tijer^{al} de madera.

Las fallas en éste tipo de edificaciones se debe más que todo a las calidades de los materiales y el diseño sísmico de las estructura. A saber:

- 1.- Mala calidad del concreto
- 2.- Mala calidad de la tabiquería: ladrillo
- 3.- Defecto en el estribado de columnas
- 4.- Falta de anclaje en las conexiones viga-columnas de la armadura.
- 5.- Falta de criterio sismo-resistente en el diseño de la estructura.

- 6.- Efecto de columna corta, que ante fuerzas laterales a la estructura trae consigo la concentración de esfuerzos en dichas columnas.
- 7.- Efecto de torsión: por la no simetría de elementos rígidos en cualesquiera de las dos direcciones principales.
- 8.- Asentamiento, por la mala calidad del suelo, no teniendo en cuenta la baja capacidad portante en el diseño de la cimentación.

6.4 ESTUDIOS DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS IMPORTANTES EN LA CIUDAD DE HUARAZ

Para la evaluación de daños en cada una de las estructuras, se hizo una inspección ocular en forma minuciosa, para lo cual se contó en la mayoría de los casos, con planos de las edificaciones en estudio.

A continuación se presenta una descripción de las características de cada estructura en estudio y sus respectivos daños, cuyas causas se explican.

6.4.01 HOSPITAL REGIONAL DE HUARAZ

Se encuentra ubicado en el Barrio Belén cuya topografía es bastante accidentada, alcanzando pendientes hasta del 20%, por lo que en la parte más baja existen blo

ques de dos pisos y en la parte alta solamente de un piso.

La estructura está hecha a base de muros portantes con columnas de amarre. El techo es aligerado que descansa sobre las vigas perimetrales y los muros portantes.

La cimentación es corrida de concreto ciclópeo. Con respecto a los daños en los elementos estructurales se pueden indicar los siguientes:

VIGAS.- Se notan fisuras y en muy pocos casos (zona de Depósitos y Maternidad) grietas que comprometan la estabilidad del elemento.

COLUMNAS Y TABIQUERIA.- Han sufrido daño en mayor grado las columnas y tabiquería en las zonas de Depósitos y Maternidad. En el primer caso ha habido inclinación de éstos elementos por efectos combinados de impacto de los otros bloques y asentamiento, comprometiendo la estructura. En el segundo caso tan solamente hubo asentamiento, por lo que se produjeron los daños respectivos.

ALIGERADO.-

No han ocurrido fallas, solamente hubo fisuras para las zonas donde sufriendo asentamientos.

MUROS DE CONTENCIÓN.-

Estos muros sostienen el terreno donde se cimenta la parte posterior del Hospital. Las fallas que se notan en estos muros son por asentamiento y rotación de su cimentación.

En general ésta estructura no fue concebida para resistir un sismo de la magnitud ocurrida en Mayo de 1970. Como se puede comprender, los daños se concentraron en las zonas de Maternidad y Depósitos (las más dañadas). Y es que en ésta zona hubo un marcado efecto de impacto, debido precisamente a las diferentes alturas de estos bloques con las zonas aladañas, aparte de que las juntas no funcionaron por estar rellenos.

6.4.02 G.U.E. MARISCAL LUZURIAGA

Esta edificación constó de 5 bloques separados por juntas de construcción. Todos cimentados a un mismo nivel, cuatro de ellos son de dos pisos que son las zonas de aulas y uno de un piso que son los Talleres.

La estructura es a base de concreto armado formando pórticos de vigas y columnas, con tabiquerías de ladrillos en los bloques de aulas. Los techos son aligerados, solamente en la zona de talleres el tipo de techo es "tijeral".

La cimentación es a base de zapatas aisladas, utilizándose concreto ciclópeo para la tabiquería.

Los daños sufridos en la Gran Unidad Escolar se resumen de la siguiente manera:

BLOCK A.-

Este primer bloque de aulas está situado en la parte frontal del colegio, al lado izquierdo.

Este block ha colapsado íntegramente salvo la pequeña zona de escaleras, la causa de dicho colapso es la torsión espacial ocurrida debido a la distribución no simétrica de rigideces. Otro factor que influyó fue el efecto de columna corta, típico en todos los pabellones debido precisamente por tener las aulas: ventanas altas, la tabiquería dejaba un metro de luz libre entre la parte superior de dicho muro y el límite inferior del techo.

En ésta zona se pudo observar también deficiencia en el anclaje de elementos estructurales, tales como en vigas y columnas.

BLOCK B.-

Este block también está situado en la parte frontal derecha simétrica e igual al block A, por consiguiente con las mismas características.

Los daños encontrados, fueron los mismos y semejantes al block "A".

BLOCK "C y D".-

Estos son las Aulas Interiores.

Los daños sufridos son mínimos, fácilmente reparables.

BLOCK "E".-

Este block es de Talleres.

Los daños sufridos no comprometen mayormente la estructura.

En general los bloques dañados fallaron por efecto de torsión, de columnas cortas y deficiente estribado y falta de enclaje en la armadura longitudinal. En los bloques no dañados, la distribución de rigideces ha sido simétrica y en los pórticos perimetrales los ventanales eran grandes y altos lo que redujo considerablemente el efecto de columnas cortas.

6.4.03 HOTEL DE TURISTAS

El Hotel está ubicado al norte de la ciudad.

La estructura en mención la dividiremos en dos zonas principales: La primera zona es de Habitaciones (do mitorios) que consta de 3 plantas, y la segunda zona es de Recepción y Comedor, Vestíbulo y Terrazas en dos niveles.

Con respecto a los daños en la primera zona, se nota fisuras y agrietamientos en muros de tabiquería, las vigas y columnas tienen fisuras y agrietamientos que mayor mente no compromete la estructura. A todo esto se puede añadir la baja calidad del concreto usado, debido al empleo de agregados muy grandes, originándose cangrejas en el concreto.

En la segunda zona tenemos a una estructura fle xible, que debido a sus pocos elementos rigidizantes han sido estos últimos los que han tomado todo el cortante, originándose de éstas manera los más graves daños. Así te nemos que las columnas esbeltas se han dañado muy poco, no tándose fisuras y grietas pero que son fácilmente reparables.

Aparte de las zonas mencionadas tenemos unos Anexos al Hotel que son edificaciones de un piso, los cu les han sufrido muy poco daño.

Hay que mencionar también que la estructura exis
tente es de forma irregular lo que ha contribuido a que
la distribución de esfuerzos cortantes se concentre en
unos elementos más que en otros.

Además que las juntas no se ubicaron convenientemente y en muy pocos casos se comportaron como tales, pa
ra dejar en libertad al desplazamiento normal ante fuerz
as laterales (Sismo). Ocorre que no se tuvieron criterios
antisísmicos para evitar el efecto de columna corta (Se-
gunda zona) y la mala calidad del concreto usado en toda
la edificación.

6.4.04 MUNICIPALIDAD DE HUARAZ

Fue edificada en el año 1958, consta de dos ni-
veles. La estructura es de concreto armado, cuyo relleno
lo constituye la tabiquería de ladrillo, el techo es de
aligerado, la cimentación es a base de zapatas combinadas
unidas mediante una viga de cimentación y en forma perime
tral.

Con respecto a los daños, las columnas se agrie
taron, llegando en la mayoría de ellos a la falla del con
creto y armadura, haciendose más visible en la parte supe
rior donde se puede apreciar que ha habido una déficien
cia: Primero en el estribado no se ha respetado el distan

cionamiento más cercano en la cabeza y pie de cada columna, Segundo la baja calidad del concreto, además que se deja una junta de construcción en el límite inferior de la viga a vaciarse posteriormente, lo cual debilita los nudos, lugares donde se concentran los esfuerzos ante sollicitaciones sísmicas.

La tabiquería se ha agrietado, ha sido muy pobre su contribución a la toma de esfuerzo cortante de la estructura. En algunos casos no vale repararlos, por lo que ha llegado a fracturarse.

Un efecto importante ocurrida en ésta estructura es el impacto, y es que en la parte posterior contigua a nuestra estructura de estudio (de dos pisos), existe la Biblioteca Municipal que es de un piso, razón por la que ha habido un diferente comportamiento entre fuerzas laterales que hicieron vibrar distintamente, según el período propio de cada estructura, lo que trajo consigo que la estructura de un piso actué como puntal para la Municipalidad originándose de esta manera el impacto, que hizo que las columnas contiguas a la Biblioteca los esfuerzos cortantes de corte se multiplicase.

Se pudieron observar también fisuras en el aligerado, pero sin ninguna importancia.

6.4.05 HOTEL BARCELONA

Se encuentra ubicado en la Av. Raymondi, es de 5 pisos, cuya construcción duró por espacio de 5 años comenzando el año de 1965. El primer nivel es Tiendas y Administración, y los tres niveles superiores son Dormitorios y el último nivel acondicionado para Salones.

Su estructura es de Concreto Armado, cuya tabiquería de relleno es de ladrillo, su cimentación es a base de zapatas aisladas, el techo es aligerado.

Con respecto a los daños, en el momento de la evaluación ya estaba resanada las grietas que se había originado por el sismo, pero por las huellas dejadas se pudo comprobar que efectivamente la tabiquería se había dañado completamente en el primer piso, y con grietas considerables del segundo al quinto piso, además se observó en la estructura desplomes en los muros de los dos pisos superiores.

El aporticamiento de la estructura fue bastante débil para el efecto combinado de cargas de gravedad y de sismo. Esto se puede comprobar en los marcos, que al estar rigidizado por la tabiquería de albañilería y por lo tanto que se concentren los esfuerzos, es que las columnas fallaron por corte, sobre todo en el primer nivel.

El asentamiento de la estructura es debido más que todo a la falta de amarre adecuado y resistente, es decir de elementos arriostramiento de las zapatas aisladas.

En conclusión, los daños se debieron al defecto de estribado en columnas y vigas, además de que la distribución del fierro longitudinal de está no es la más adecuada para resistir la sollicitación sísmica. La cimentación tiene dimensiones muy inferiores a los que necesita, para las sollicitaciones combinadas que reciben, y por la mediana capacidad portante del suelo.

6.4.06 RESTAURANT "PALAIS FENIX"

Se encuentra ubicado al frente de la Plaza de Armas. La Edificación consta de 3 niveles (el primero fue Restaurant, el segundo destinado a viviendas y el tercero Salón de Banquetes, los dos últimos niveles se comunican por una escalera principal que es independiente del Restaurant.

La estructura es a base de muros con columnas techo aligerado, cimentación de concreto ciclópeo corrido.

Un defecto que se debe poner en hincapié, es el desplome en el levantamiento de los muros. Así mismo la forma irregular en el asentado de ladrillos (viéndolo en un plano vertical).

Otro aspecto, aparte de que las especificaciones no son completas en el proyecto, y es que no se han cumplido dichas especificaciones creando incertidumbre en el comportamiento de la estructura ante sollicitaciones sísmicas.

Se nota que debido a los cambios posteriores al proyecto, en lo que respecta los muros, trajo consigo el empleo de vigas que no se comportaron eficientemente ante cargas de gravedad y posiblemente también por las cargas laterales.

Con respecto a los daños: la tabiquería agrietada a partir del segundo nivel, no vale la pena repararlas. Las columnas están falladas por corte, notándose el efecto en los muros, zona debilitada anticipadamente por el deficiente vaciado de concreto, además de que sus calidades defieren.

6.5 CONCLUSIONES

Las causas por las que fallan en los 4 tipos de construcciones han sido las siguientes:

6.5.01 CONSTRUCCIONES DE ADOBES:

- Mala calidad del adobe en lo que se refiere a la materia prima utilizada y a la técnica de producción.

- Dimensionamiento inadecuado de los adobes, especialmente en su altura, que en la mayoría de los casos es demasiado grande.
- Traba horizontal insuficiente entre los adobes, principalmente cuando ellos están colocados de cabeza, motivados casi siempre por el mal dimensionamiento de los adobes.
- Trabas inadecuadas y deficientes en los encuentros de muros que producen juntas verticales continuas de tres y más hiladas.
- Deficiente mano de obra en la colocación de adobes.
- Dimensionamiento incorrecto de los muros: poco espesor y excesivo largo y alto.
- Vanos de puertas y ventanas muy anchas y poco empotramiento de los dinteles.
- Muchos vanos y pocos llenos en la distribución de un paño de muro.
- Carencia de una cadena superior de amarre.
- Techos muy pesados y soluciones constructivas deficientes en su empalme con los muros de adobe.
- Poca o ninguna protección de los muros contra su debilitamiento por el fenómeno de la erosión.
- Construcciones de más de un piso que no son aptas para soportar sismos.

- Uso exagerado de muros

6.5.02 CONSTRUCCIONES DE LADRILLOS SIN COLUMNAS

- Gran porcentaje de aberturas en las fachadas y la menor dimensión de la casa en el sentido X (paralela a la fachada que en el sentido perpendicular a ella.
- La mala calidad de la albañilería (mortero y ladrillo) Así tenemos la arena fina de baja resistencia, lo mismo el ladrillo.
- El uso de muros de soga como portantes, sobre todo si las casas estaban sometidas a cargas sísmicas considerables.
- Empotrar en los muros tubos, cajas de luz etc. de tamaño apreciable.
- Distintas calidades de mano de obra y de materiales han hecho que los comportamientos sean diferentes, tal es el caso de casas de un mismo tipo y ubicadas en la misma zona.

6.5.03 CONSTRUCCIONES EN GENERAL DE CONCRETO ARMADO (LADRILLO CON COLUMNAS Y APORTICADAS)

- Forma inadecuada de la estructura para resistir sismos con distribución desimétrica de masas y rigideces, lo

que introduce una gran torsión durante el evento sísmico y como consecuencia de esto, una gran concentración de esfuerzos en los elementos de la zona flexible alejada del centro de corte, que pueden provocar su falla. En otros casos las columnas son rectangulares, siendo muy resistente en una dirección pero muy débiles en la dirección perpendicular.

- Utilización de materiales de diferentes propiedades elásticas, en la misma edificación, como por ejemplo, el relleno de los vanos de los pórticos de concreto armado con paredes de ladrillo hueco, o ventanales de vidrio fijados a la estructura sin ninguna holgura.

Como la estructura de concreto armado es relativamente dúctil y los elementos de relleno son muy frágiles las deformaciones causadas por la acción sísmica, puede provocar la falla de los elementos de relleno, aunque la estructura principal no falle.

- Errores de diseño, que resultan como consecuencia de no analizar sísmicamente la estructura de manera apropiada.
- Rigidización de las columnas (efecto de columna corta), esto ocurre cuando los muros estructurales (alfeizer) , disminuye la altura libre de la columna produciéndose la concentración de la fuerza sísmica y por consiguiente los mayores daños.

- El fenómeno de impacto entre dos estructuras contiguas, esto ocurre por el diferente modo de vibración de cada una, ya sea por sus distintas alturas o masas pertenecientes. Y que al no haber una junta de separación apropiada trajo los mayores daños, a dichas estructuras.
- Defectos constructivos como la ejecución de juntas constructivas en las obras de concreto armado en lugares inapropiados como por ejemplo en la unión del fondo de viga con la cabeza de columnas.
- Falta de inspección en la ejecución de las obras, con la debida rigurosidad, por organismos oficiales.

C A P I T U L O V I I

COEFICIENTE SISMICO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS

7.1. INTRODUCCION:

El comportamiento de las estructuras durante los sismos ha sido reconocido generalmente como un fenómeno de vibración dinámica de naturaleza transitoria. Durante él, la base de una estructura es forzada a moverse por el movimiento tanto horizontal como vertical del terreno, pero ya que las estructuras tienen en general, un exceso considerable de resistencia en la dirección vertical, se acostumbra considerar solamente los efectos de los movimientos horizontales en el diseño antisísmico.

En general, puede afirmarse que el comportamiento de una estructura depende de la forma como se ha efectuado el diseño. Por ejemplo, los edificios japoneses se diseñan utilizando fuerzas laterales mucho mayores que los

recomendados por los reglamentos Norteamericanos; el resultado es la mayor rigidez de los edificios japoneses respecto a los Norteamericanos: es decir un período de vibración menor da como resultado aceleraciones espectrales mayores, la estructura más rígida "atrae" más fuerzas horizontales que una flexible. En consecuencia, el diseño con fuerza horizontal mayor no hará necesariamente más resistente ni segura a la estructura, si en el proceso, esta se vuelve más rígida o menos dúctil.

Por otro lado, si se diseña para una fuerza lateral menor que la recomendada por un reglamento cualquiera, se logrará una estructura más flexible, y en general, más ligera y generará una fuerza algo menor sin embargo, la mayor flexibilidad de dicha estructura, puede atraer una energía inducida mayor ya que puede aumentar la velocidad espectral con un período mayor. Igualmente la mayor flexibilidad puede provocar indeseables características de vibración, bajo la acción de sismos leves o vientos, y la estructura resulta poco satisfactoria por razones completamente ajenas a las asociadas con su comportamiento estructural.

En la actualidad, el diseño sísmico tiene mucho de arte, basándose el criterio en gran parte en la experiencia adquirida por la observación de los daños causados por sismos pasados. Paralelamente se han llevado a cabo

estudios teóricos, cuyos resultados se reflejan en la revisiones de los conceptos de diseños, incluidos en los reglamentos sísmicos.

7.2 FILOSOFIA DE DISEÑO

El objetivo principal de todo diseño estructural es el de proteger la vida humana prestando especial atención a los elementos secundarios como son los vidrios, enchapados decorativos, paredes de albañilería y chimeneas. El segundo regulador en el diseño una vez cumplido lo primero es el principio de la Economía.

Debido a que no existe una perfecta seguridad, es que se debe fijar un cierto nivel de la misma cuando se tenga que diseñar una estructura. Así primero debemos tomar un balance de peligros en la seguridad de la vida humana (accidentes, enfermedades, desastres, etc), segundo reemplazar el valor de la vida humana por un precio (ejemplo, compensación por accidentes), y tercero fijar el valor en base a las experiencias pasadas (es decir diseñar una estructura que no solo se rijan de los reglamentos y especificaciones, sino que se tengan muy en cuenta la experiencia obtenida para cuyas cargas de diseño presentadas en el código fueron normalizados).

Si las cargas de diseño han sido fijadas considerando la seguridad de la vida humana, dichas cargas pueden

ser calculadas teniendo en cuenta el principio de Economía, es decir construir la estructura lo más económica para satisfacer las condiciones dadas.

7.3 CONCEPTOS GENERALES DE DISEÑO

Los conceptos que se ennumeran a continuación son aplicables con toda generalidad en el diseño sismo-resistente de estructuras:

1°) Los sismos producen movimientos casuales del terreno de naturaleza violenta y casi caótica. Es necesario notar que el sismo sólo produce movimientos del terreno, y en consecuencia ejerce fuerzas sólo en la base del edificio.

2°) Para una zona determinada, es posible evaluar la magnitud y naturaleza de los movimientos probables a partir del análisis de registros sísmicos previos, y formular la naturaleza y magnitud relativa de los espectros de respuesta.

3°) Pueden en general efectuarse análisis teóricos de la respuesta elástica de estructuras sometidas a los movimientos del terreno; sin embargo dichos análisis parecen sobreestimar en general, los esfuerzos producidos o las resistencias de diseño requerida.

4°) Aunque es posible llegar a un conjunto equivalente de fuerzas, por análisis, para el cual puede dise

ñarse un edificio, aquel debe ser interpretado adecuadamente. Es posible calcular dichas fuerzas en el rango elástico, con las limitaciones ya enunciadas. Sin embargo, cuando el edificio ingresa en el rango inelástico, absorbe más energía y puede reducirse las fuerzas requeridas.

5°) Los análisis precisos para la respuesta sísmica incluyen técnicas innecesariamente complicadas, en vista de los numerosos factores desconocidos en el movimiento del terreno. De hecho las recomendaciones actuales tienden en forma cada vez más notoria el análisis dinámico.

6°) Debido a que la mayor parte de la capacidad sísmica de una estructura se encuentra cifrada en su comportamiento inelástico, es importante tener suficiente dutibilidad en la estructura, para absorber energía sin que se produzca el colapso. Es deseable, en general contar con una ductilidad adicional para precaver sismos más ~~seros~~.

7°) En estructuras de varios pisos, en las cuales el marco resiste íntegramente los cortantes sísmicos, sin otros elementos tales como muros, escaleras, etc para proporcionar resistencia suplementaria, los análisis dinámicos indican que se produce en la base, un cortante mayor que la calculada a partir de las especificaciones reglamentarias "análisis estático", siendo deseable por tanto una mayor resistencia en cortante comparada con las fuerzas sísmicas calculadas a partir del diagrama triangular invertido de aceleraciones.

7.4 DISEÑO ELASTICO Y DISEÑO PLASTICO

Sea cualesquiera de los dos métodos para diseñar una estructura, se deberá evitar el colapso para conseguir proteger la vida humana.

Algunos diseñadores prefieren el diseño elástico. Si el suelo es bueno y el edificio es flexible en su primer piso toda la estructura permanece dentro del rango elástico durante la vibración, pero una vez que las columnas del primer piso alcanzan la condición plástica hay la posibilidad de colapso debido a los momentos flectores - adicionales producidos por la flexión del primer piso y por las fuerzas verticales (peso propio del edificio más componente vertical de las fuerzas sísmicas).

Generalmente el comportamiento plástico de la estructura incrementa el amortiguamiento (disipación de energía), y disminuye la excitación de la fuerza sísmica. Pero hay un caso en el que la vibración plástica empeora la situación, un ejemplo es un edificio de concreto construido sobre suelo blando y aluvional. Después que se ha producido la rotura de columnas y vigas, los períodos naturales de vibración se alargan y se aproximan al período predominante del suelo. Naturalmente las fuerzas de excitación sísmica se incrementan y los daños se propagan a toda la estructura.

Para los factores de carga sea uno ú otro el diseño a utilizar, se empleará las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico.

7.5 PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO - REGLAMENTOS Y ESPECIFICACIONES

Para el diseño de cualquier edificación, además del criterio sismo-resistente en su estructuración es también importante utilizar los materiales que sean resistentes al clima, y que sean económicos y fácilmente obtenibles.

Los principios a que se quiere indicar son los siguientes: con excepción de la cimentación, más liviano mejor; lo más fuerte, mejor; son preferibles las estructuras dúctiles; se recomienda que las plantas y elevaciones sean simples; que la cimentación sea fuerte en rigidez y masiva; que los períodos de vibración de la estructura sean diferentes a los del suelo; y evitar los lugares sujetos a daños, como por ejemplo los taludes inestables.

Otro aspecto también de mucha importancia, es el de cumplir obligatoriamente las especificaciones constructivas. Ya que estas son el fruto de la experiencia pasada y compensan los defectos que en los cálculos pueden haberse producido.

Así por ejemplo las actuales especificaciones de la SEAOC están encaminadas hacia resultados aceptables (lo

demostró el sismo de Anchorage de 1964). En el Perú se aprobó (Setiembre 1968) en la Comisión Metropolitana de Lima un Reglamento de Diseño Antisísmico (actualmente vigente en el Reglamento Nacional de Construcciones), aplicable a nuestro país, el que está bien orientado y cuyos requisitos son el resultado de estudios y experiencias anteriores.

7.6 FACTORES QUE SE TIENEN EN CUENTA PARA EL COEFICIENTE SISMICO

El coeficiente sísmico a usarse en el diseño de estructuras, depende de varios factores expresado por el producto (Z). (U.K.C) que a continuación explicaremos:

1.- Coeficiente "Z"

- Este coeficiente es el factor "Condición Suelo"
- Sabido es que al actuar un sismo, esto es, al arribar las ondas sísmicas, las estructuras se comportarán conforme sean sus características, las aceleraciones que sufrirán (y en consecuencia el daño que presentarán) dependerá de la magnitud del sismo (energía liberada) y de la distancia del epicentro.
- Sin embargo las evidencias encontradas en el campo son otras. En efecto, estructuras del mismo diseño y a distancias entre ellas desprecia

bles comparadas con la distancia **epicentral** presentan daños distintos, evidenciando que han estado a diferentes aceleraciones.

- Se ha llegado a la conclusión de que las diferencias locales en geología, topografía y condición de suelos son determinantes para las aceleraciones sísmicas a que se verán sometidas las estructuras.
- En lo que al suelo respecta, debe contemplarse la amplificación que sufren las ondas sísmicas en el estrato superficial, la resonancia del terreno con la estructura y la disipación de la energía vibratoria.
- Así es que debido a la influencia del suelo en los daños estructurales, cuyas diferencias locales en geología son bien notables, sobre todo del estudio dinámico del suelo mediante Microtrepidaciones, ha sido posible delimitar el área urbana de Huaraz en 3 Zonas (ver Plano N° 11) cuyos valores del coeficiente "Z" se asume como:

Zona	I	$Z_1 = 1.1$
Zona	II	$Z_2 = 1.3$
Zona	III	$Z_3 = 1.5$

2.- Factor (U.K.C)

- Están compuestos por: (U) que corresponde al índice sísmico de la región y del uso de la edificación; (K) que corresponde a la capacidad de absorción de energía y a la ductilidad de la estructura; y (C) determina el porcentaje de la carga viva que debe tomarse como cortante en la base de dicha estructura.
- Los valores a tomarse se regirán de las dadas por las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico (ver Bibliografía N° 6).

7.7 INFLUENCIA DEL SUELO EN LA RESPUESTA DINAMICA DE UNA ESTRUCTURA ANTE UN EVENTO SISMICO

Causante de los daños que puedan producirse en las estructuras son las condiciones de falla del suelo sobre el cual está cimentado. Por lo que es necesario tener un conocimiento completo de las propiedades elásticas de los suelos (amplificación de las ondas sísmicas). Así mismo de sus características dinámicas de la estructura, dadas por su período de vibración, dependerá que falle por amplificación. Otro fenómeno muy importante es la disipación de energía a través de la cimentación, ya que a mayor disipación de energía menor es el grado de violencia de vibración.

Existe un estudio sobre el particular, auspiciado por la Asociación de Aseguradores del Perú (ver Bibliografía N° 13) cuyo capítulo II referente a INTENSIDAD SISMICA Y LOS FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE ELLA que entre otros es autor el Ing° Julio Kuroiwa, describe la forma como influye el suelo en la respuesta dinámica de una estructura ante un evento sísmico. Estas la pasaremos a explicar en forma muy suscita por ser de fácil comprensión.

7.7.01 Amplificación del movimiento sísmico por el estrato superficial

Esta amplificación se puede determinar mediante los siguientes estudios o métodos, según han ido avanzando las nuevas técnicas:

1°) Estudio de las Velocidades de Propagación de las Ondas.-

- De este estudio se ve que existe una relación entre la velocidad de las ondas sísmicas y las propiedades elásticas del suelo sobre el que ocurrirá la máxima intensidad de un sismo.
- Esta dependencia fué sugerida por S. V. Medvedev sobre la base de análisis de sismos destructivos; es decir relaciona el incremento de intensidad sísmica con la rigidez acústica de dos medios (suelo-roca). Además que dicho incremento aumenta a medida que la napa freática va profundizándose.

2°) Estudio, de Sismos Reales.-

- Registrando los sismos sobre varios tipos de suelos, permiten estudiar las características espectrales de las oscilaciones de los estratos de suelo. Así mismo de dicho estudio se sabe que: la amplitud sobre la superficie de un estrato suelto y la posición de la máxima y mínima frecuencia, depende del espesor del estrato y de sus propiedades fisicomecánicas (Rigidez Acústica), el ángulo de arribo de las ondas al estrato superficial, y su duración, así como también la amplitud de frecuencia espectro de las ondas incidentes.
- Con la finalidad de eliminar la influencia de la distancia epicentral, en Rusia se registraron simultáneamente sismos en puntos que no distaban entre si más de 2 kms. con la intención de determinar el efecto producido por el suelo por la intensidad de las vibraciones sísmicas.

3°) Estudio, de Microtrepidaciones.-

- Hechas las medidas sistemáticas de microtrepidaciones en diversos tipos de suelos, realizados por los investigadores japoneses K. Kanai, T. Tanaka y K. Osada, (ver Bibliografía N° 15) se encontró lo siguiente:
 - a) Para cada tipo de suelo la distribución de los períodos de micro-vibraciones y llevadas a un

diagrama de frecuencias (o histograma), muestra formas bien definidas.

b) La forma de dichos histogramas es similar a la que presentan los histogramas de frecuencia de sismos (macro-vibraciones) registrados en el mismo lugar.

- Luego este estudio, permite clasificar el suelo de cimentación en base a la distribución de períodos predominantes que le pertenecen.

7.7.02 Resonancia de Suelo y Estructura

Debido a que el suelo tiene características resonánticas; es decir aumenta bruscamente su amplitud de vibración si son excitados por ondas sísmicas cuyo período se acerca a su período predominante (período natural del terreno) y si es que el período de la estructura (período del primer modo) coincide con el mencionado, puede resultar una gran aceleración por resonancia.

Son de ayuda para la determinación del período natural del terreno y el período de la estructura, el estudio del suelo mediante estaciones de microtrepidaciones y de las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico respectivamente (Ver Bibliografía N° 6).

Es indudable que esta relación de resonancia suelo estructura ayudó entre otras causas, a la destrucción

de edificaciones en el Casco Urbano de Huaraz. Es decir el período largo del suelo estuvo muy cerca del período también largo de las edificaciones.

7.7.03 Disipación de Energía Vibratoria.

Esta disipación de energía vibratoria puede ser provechosa para una edificación, dependiendo de la relación de rigidez suelo-estructura. Así ocurrirá si la edificación es más rígida que el suelo, le impondrá sus vibraciones y se producirá dicho efecto beneficioso, que es el de la disipación de energía vibratoria. En cambio si el edificio tiene un período natural más largo que del suelo, las ondas sísmicas en su viaje por la estructura ya no se vuelve a transmitir dentro de la tierra sino es íntegramente reflejada hacia arriba; es decir el nuevo impacto llegará cuando los esfuerzos sísmicos no han terminado de distribuir en toda la altura, produciéndose por consiguiente el chicoteo y la falla.

7. 8 CONCLUSIONES

En este capítulo fundamentalmente se pone especial énfasis la forma de obtener el factor "Z" aún no incluido en las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico, y que es la influencia del suelo cuyo comportamiento dinámico es definitorio en la respuesta de la estructura ante un evento sísmico. Así mismo se ha tenido en cuenta el

nivel de agua, cuya influencia en el comportamiento de las estructuras también es modificante, es desfavorable cuanto más cerca está la napa freática a la superficie.

Según experiencias acumuladas en sismos ocurridos en diferentes partes del mundo, las características del suelo tienen una dramática influencia en la distribución de daños en las edificaciones cimentadas sobre aquél. Por lo que se ha tenido en cuenta este aspecto en el capítulo VI referente a la "Evaluación de Daños", para tener un conocimiento del comportamiento dinámico del suelo y su relación con la destrucción de edificaciones, y como tal llevar a la Microzonificación Sísmica. Así para la Zona 1 hubo un 20% de daños, las que en su mayoría ocurrieron debido a los pocos conocimientos de construcciones anti-sísmicas y ser edificaciones antiguas. Para la Zona 2 en cambio aumentó el % de daños, en promedio 60%, por lo que se le considera a dicha zona como de riesgo sísmico intermedio. Para la Zona 3 el % de daños alcanzó en cerca del 100%, lo que motivó a aumentar el riesgo sísmico al máximo.

Con igual importancia se ha considerado la geología de la región, más específicamente se ha limitado la Zona Aluviónica como inhabilitada para construcciones, por ser una área de peligro en potencia, cuyos antecedentes de desastres ha llevado a recomendar como zona prohibida.

Finalmente se dan valores a los coeficientes "Z" (factor influencia del suelo) como índice del mayor o menor riesgo sísmico de una zona con otra, para la estabilidad de una estructura ante efectos sísmicos (ver Plano N° 11).

Además se menciona 3 métodos para poder evaluar la amplificación del movimiento sísmico por el estrato superficial, cuyas conclusiones son las siguientes:

- Para poder determinar la microzonificación sísmica de una área determinada y en poco tiempo, son mucho más efectivos los métodos referentes a la medición de velocidades para conseguir la diferenciación de suelos, y el concerniente a los registros de Microtrepidaciones para condiciones de suelos también diferentes.
- En cambio para el método, del estudio de sismos reales, requiere de una extensa red de estaciones sísmicas para ubicarlas en cada tipo de suelo y además requiere mucho tiempo de observación.

C A P I T U L O VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los capítulos anteriores puede verse una ex
plicación más extensa de las conclusiones siguientes:

- 1.- Geológicamente la ciudad de Huaraz y sus Alrededores se encuentran representados por depósitos de origen Volcánico y acumulaciones de material Cuaternario.
- 2.- Un examen del plano geomorfológico del Area Urbana de Huaraz demuestra la existencia de varias zonas, en
tre las cuales se puede diferenciar las siguientes:
 - Una Zona Central que separa las áreas de la ciudad hacia el norte y sur compuesta de terreno aluvional de origen reciente, especialmente del **aluvión** de Diciembre de 1941.

- Terrazas del Río Santa ubicadas en la parte Oeste de la ciudad a lo largo de la dirección Sur-Norte.
 - Zona de depósitos de arcillas y arenas producto de un represamiento antiguo del Río Santa, que ocupa la Zona del Casco Urbano.
 - Abanico Aluvial y Depósito Torrencial que conforman las zonas conocidas como El Pedregal y La Soledad.
 - Zona Aluvial del Río Quilcay cuyos límites abarcan hacia el Sur, parte del barrio de San Francisco y hacia el Norte, gran parte de las zonas conocidas como Nicrupampa y Centenario.
 - La parte este de la Zona Urbana, con taludes mas empinados, recubiertos de escombros de pendientes y depósitos fluvioglaciares.
- 3.- Como consecuencia del último sismo (31 de Mayo de 1970) en el área de Huaraz y Alrededores y según la geodinámica externa ocurrieron agrietamientos, abovedamientos y asentamientos, causantes del gran porcentaje de daños en edificaciones. Los efectos antes mencionados cuyo responsable, las ondas sísmicas, han tenido como causas las siguientes reacciones: la compactación diferencial de los suelos; la sobrecarga de edificios al aumentar las aceleraciones verticales; la

naturaleza arcillosa de los suelos; es decir ha tomado un nuevo estado de equilibrio el estrato superior del suelo.

- 4.- Como resultado de una cuidadosa observación de los niveles de agua en todas las calicatas de exploración, se ha logrado delimitar dentro del Area Urbana de Huaraz aquellas zonas en las cuales la presencia de la napa freática puede ser de significación para las operaciones constructivas. Son 4 zonas cuyos niveles se limitan aproximadamente, a saber:

Zona "A" Mayor de 2.50 m.

Barrios Centenario, Patay y parte de Nicrupampa.

Zona "B" Mayor de 2.00 m.

Barrio de Huarupampa.

Zona "C" De 0.00 a 2.00 m.

Casco Urbano, San Francisco, La Soledad y Belén.

Zona "D" Mayor de 3.50 m.

Barrio Pedregal.

Es importante anotar que en las zonas en las cuales la napa freática se halla a menos de 2.70 m. de profundidad coincide con la ubicación de suelos de gra-

no fino, lo cual permite especular que en esas áreas el fenómeno de capilaridad juega un rol importante (Casco Urbano, área en el cual hay un gran porcentaje de daños).

5.- Considerando como base la intensidad en el basamento rocoso, se estudia la amplificación que puede ocasionarse en otros tipos de suelos menos rígidos. Ahora bien, el incremento de la intensidad sísmica depende de las condiciones del suelo, que es controlado principalmente por el espesor de los estratos (profundidad del basamento rocoso), y de sus propiedades físico-mecánicas, elásticas. Es por eso que para completar el estudio del modelo dinámico de un lugar, se ha creído conveniente contar con las profundidades del basamento rocoso:

Profundidades de 20 - 100 m.	Barrio Centenario.
Profundidades de 0 - 100 m.	Barrio Nicrupampa.
Profundidades de 40 - 100 m.	Barrio Huarupampa.
Profundidades de 40 - 100 m.	Barrio Belén.
Profundidades de 60 - 120 m.	Barrio San Francisco.
Profundidades de 0 - 80 m.	Barrio La Soledad.
Profundidades de 0 - 80 m.	Barrio Pedregal.

6.- Las investigaciones de Microtrepidaciones ha permitido clasificar el suelo de fundación en base a la dis

tribución de períodos. Así los modos de vibración fundamental van desde 0.14 a 0.33 seg. y complementarios que llegan hasta alcanzar valores que corresponden a períodos largos del orden de 0.50 seg.

Para el área urbana de Huaraz se ha zonificado en 5 tipos de suelos cuyos períodos de vibración predominantes son como siguen:

- TIPO I Período predominante 0.14 seg.
 Complementarios 0.10, 0.17, 0.16 seg.
- TIPO II Período predominante 0.20, 0.25 seg.
 Complementarios 0.17 y 0.33 seg.
- TIPO III Período predominante 0.25 seg.
- TIPO IV Período predominante 0.20, 0.23 y 0.25 seg.
 Complementario 0.16 y 0.12 seg.
- TIPO V Período predominante 0.25 y 0.33 seg.
 Complementario 0.50 seg.

Cuando el suelo posee un solo estrato (es decir un solo cambio de elasticidad en la interfase suelo-roca) las curvas frecuencia-período (# de veces que ocurren tales períodos) de microtrepidaciones tiene un solo pico. Tal es el caso para el Tipo de suelo III.

Cuando la estratificación es múltiple entre cada pico de las curvas de microtrepidaciones hay ligeras di

ferencias debido a las reflexiones múltiples que provocan varias interfases, ocasionando interferencias. Tal es el caso, para los tipos de suelos I, II, IV y V.

- 7.- La distribución de daños define claramente las zonas de mayor riesgo sísmico debido a que existe una relación: "Comportamiento dinámico del Suelo sobre el cual se cimenta la edificación", y la "Respuesta Sísmica de dicha Estructura".

Estableciéndose lo siguiente:

1ª Zona de Riesgo Sísmico

Barrios Patay, Centenario y Nicrupampa.

Porcentaje de daños: 20 - 25 %.

2ª Zona de Riesgo Sísmico

Barrios Pedregal y parte de La Soledad.

Porcentaje de daños: 60 - 80 %.

3ª Zona de Riesgo Sísmico

Barrios San Francisco, Belén y Huarupampa.

Porcentaje de daños: 50 - 95 %.

En base a los resultados encontrados en el área urbana de Huaraz, se puede concluir que las fallas en las edificaciones se concentran mayormente en las de adobe y construcciones de ladrillo sin columna (a excep

ción del Barrio Centenario cuyo porcentaje de daños es menor, debido a la mejor calidad relativa del suelo, cuyo comportamiento dinámico del suelo le ha sido favorable), debiéndose principalmente a la mala estructuración, mala calidad de los materiales usados y a la falta de conocimientos técnicos necesarios para edificar éste tipo de construcciones y hacerlos sismoresistentes.

Para las construcciones de ladrillo con columnas se ha observado que las columnas bien ubicadas producen los confinamientos necesarios de los muros como para que éstos resistan sismos de regular intensidad, los daños en éste tipo de edificaciones son pocos y los producidos han sido por defectos de estructuración y falta de criterio en la colocación de las columnas.

En las pocas edificaciones de Concreto Armado (aportados), se ha observado la falta de criterio sísmico en la estructuración y diseño, aparte de que los materiales usados han sido de mala calidad.

8.- El comportamiento sísmico de una estructura depende de la forma como se ha efectuado el diseño. Existen 3 criterios de diseño:

1º) Que la estructura se comporte elástica ó casi elás-
ticamente, bajo sismos moderados, de ocurrencia

frecuente. Debiendo tener un margen de seguridad contra el colapso, aún bajo las condiciones del sismo probable más severo. Y si ocurriera que la estructura se viera sometido a sismos de mucha frecuencia, ésta se diseñará de manera que su daño no sea importante, para su posterior reparación

- 2^a) Que la estructura no falle ante sismos severos, esto nos obliga hacer uso de la reserva de resistencia en el rango inelástico y que nos la pueden proporcionar los procedimientos y detalles adecuados, tanto de diseño como de construcción. Sería anti-económico diseñar en el rango elástico para las condiciones expuestas arriba. Ahora si las deformaciones son mayores de las previstas, su reparación será primaria pero no fallará.
- 3^a) Que se dê tranquilidad a los ocupantes de la construcción durante sismos moderados e intensos, los requisitos de diseño han de contemplar éste aspecto, especialmente en los pisos superiores. Lo mismo ocurre con respecto a la protección de los transeuntes, es decir diseñar adecuadamente los muros de parapeto, marquesinas, etc.

9.- Las diferencias locales en geología, topografía y condiciones de suelo son determinantes para las aceleraciones

ciones a que se verán sometidas las estructuras. Es tán representadas por el factor "Z" en el Coeficiente Sísmico:

$$\text{COEFICIENTE SISMICO} = (Z) \cdot (\text{UKC})$$

Para el primer factor (Z), ver Plano Nº 11.

Para el segundo factor (UKC) se tomará en cuenta las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico. (Bibliografía Nº 6).

10.- A manera de referencia se menciona como influye el suelo en la respuesta dinámica de una estructura ante un evento sísmico, cuyas conclusiones a las que se ha llegado son las siguientes:

- A) Las características del suelo tales como Módulo de Rigidez, Densidad, Estratificación, Etc., se puede determinar con la ayuda de las ondas sísmicas, que pueden ser provocadas artificialmente (constituyendo ésto los llamados métodos geofísicos).
- B) La velocidad de las ondas sísmicas depende del tipo de suelo. Es aplicable al método de microzonificación que determina el cambio de intensidad sísmica en base a la medición de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, permitiendo de esa manera que un estudio detallado sea hecho so-

bre un vasto territorio en relativamente corto tiempo y bajo costo.

- C) La amplitud de las ondas se incrementa al pasar de un medio a otro de menor elasticidad, mientras que la velocidad y la longitud disminuyen. La amplificación es mayor mientras mas blando sea el estrato superficial, ésto es, mientras el producto (P.V.) sea menor, que es la "Rigidez acústica del medio". Hay amplificación máxima cuando las ondas incidentes tienen períodos coincidentes con los del terreno.
- D) Las oscilaciones de los estratos del suelo son de naturaleza de resonancia y las amplitudes del suelo se incrementan abruptamente cuando el período de las ondas sísmicas coincide con el período natural de los estratos superficiales. Este fenómeno se pronuncia más cuando éste valor tiene decenas ó cientos de metros.
- E) La amplificación que sufren las ondas sísmicas por el estrato superficial se puede determinar mediante 3 métodos:
- Del estudio de sismos reales bajo varias condiciones de suelo da una respuesta directa a una posible acción sísmica para obtener resultados adecuados (1er. Método).

- Los otros dos métodos (diferenciación de los suelos por medición de velocidades y registro de microtrepidaciones para varias condiciones de suelos), prueban ser mucho más efectivos en determinar la microzonificación en un corto tiempo y en áreas grandes.

11.- Se producirá graves daños en la estructura por resonancia cuando halla coincidencia o proximidad del período predominante del terreno con el de la estructura sobre él cimentada. Así:

- Al vibrar un edificio de período menor que el del terreno de cimentación, podrá distribuir los esfuerzos uniformemente en toda la altura, vibrando aquel en el primer modo.

- Al vibrar un edificio de período mayor que el del terreno, no tendrá tiempo de distribuir los esfuerzos antes de la llegada del nuevo impulso, produciéndose chicoteo en los pisos altos (la estructura vibrará en modos altos) ésto es la nueva onda incidente actuará en conjunto con la reflejada, en la parte superior.

12.- Se demuestra teóricamente que la disipación de energía vibracional de una estructura, aumenta con la relación de la rigidez de la estructura con respec-

to a la del suelo. Así en un edificio rígido cimentado en suelo blando se producirá una conveniente disipación de energía del primero al segundo, por relación de rigideces.

Las recomendaciones las dividiremos en 5 partes:

- 1.- Se recomienda no construir edificaciones en el perímetro de la Zona Aluviónica, debido a que siempre persiste el peligro de los aluviones y además es para darle mayor seguridad a los pobladores.
- 2.- Para las otras 3 Zonas, los suelos son adecuados para proporcionar satisfactoria cimentación a estructuras convencionales de uno a cuatro pisos bajo efectos de sismos, siempre y cuando éstas sean construídas aplicando procedimientos de construcción y materiales de buena calidad, y que en la construcción se respete el proyecto inicial, el cual debe considerar el criterio de estructura sismo-resistente, y que, para cada una de las 3 zonas mencionadas tendrán un coeficiente sísmico diferente, dados por el presente trabajo (Ver Plano N° 11).
- 3.- En el Casco Urbano la Napa Freática está bastante cerca a la superficie natural del terreno, razón por la cual el grado de destrucción en edificaciones fue

mayor (Sismo de Mayo 1970, ver Anexo de Fotos). Por lo que se recomienda tener muy en cuenta el mayor riesgo sísmico considerado para esta zona.

4.- Debido a la falta de criterio sísmico en la estructuración y diseño, aparte de que los materiales usados son de mala calidad es necesario mejorar el control de obra que existe en general en toda el área de Huaraz, introduciendo el criterio sismo-resistente en la estructuración y diseño, así como también tener el concepto del comportamiento espacial de la estructura. Por lo que se recomienda aplicar en forma obligatoria las Normas Peruana de Diseño Antisísmico, como así también incluir un Factor adicional "Z" que tiene en cuenta las condiciones del suelo, cuyos valores se refieren a estructuras convencionales de 1 a 4 pisos y que se indican en el Plano N° 11.

5.- Se ha creído conveniente dar unas recomendaciones sobre tópicos generales en lo que respecta a 4 tipos de construcciones bien definidos, pudiendo apreciarse los siguientes:

Construcciones de Adobes

- Utilizar adobes cuadrados 18 x 38 x 8 cm., que aunque no es la tradicional en el Perú, tiene características especiales que facilitan el proceso constructivo. Pesa menos de 19 kgs, su relación largo-alto 4 a 1 permite un traslape horizontal en proporción 2 a 1 lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos.
- Buena traba entre adobes y juntas verticales alternadas
- Altura máxima de los muros, no debe ser mayor que 8 veces su espesor.
- Usar refuerzos horizontales (viga collar)
- Usar refuerzos verticales (Contrafuertes)
- Agregar en las juntas elementos que tomen tracción (ejemplo fibras de maguey)
- Usar cimientos y sobrecimientos
- La casa deberá ser de un piso.

Construcciones de Ladrillos sin Columnas

- Para éste tipo de construcciones se debe emplear el criterio de "Densidad de Muros" en su diseño que es el porcentaje de muros en cada dirección con respecto al área techada. Deberán aplicarse por lo tanto **para** futuras construcciones.

- Es recomendable no colocar elementos extraños en los muros resistentes (tubos de desagüe, cajas de luz, etc).
- Los ladrillos a emplearse serán macizos y de buena calidad (resistencia al corte y a la compresión). Lo mismo al mortero, cuya relación cemento-arena será mínima 1:5.

Construcciones en General de Concreto Armado (ladrillo con columnas y aporticados)

- Se procurará que en planta la distribución de rigideces sea lo más simétrica en ambas direcciones principales de la edificación. Si por razones de presencia de vanos ó por la distribución arquitectónica no se consigue, se recomienda que la zona debilitada se refuerce con columnas adicionales, o placas de concreto en última instancia.
- Se aplicarán las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico cumpliéndose de esta manera los requisitos mínimos en su estructura y la subestructura, contando además del tipo de suelo donde se va a edificar la estructura en estudio.
- Deberá efectuarse un control riguroso de la estructura, con personal especialmente entrenado.
- Dictar cursos de Ingeniería Antisísmica a todos los profesionales encargados de ejecutar las obras.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- E. Deza, A. Cáceres, y G. Ibarra - Prospección por Gravedad de la Ciudad de Huaraz: Informe de la Subcomisión Técnica - CRYRZA (Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada por el Terremoto del 31 de Mayo de 1970).
- 2.- E. Deza, E. Lazo - Observaciones de Microtrepidaciones en Huaraz - CRYRZA.
- 3.- M. Dobrin - Introducción a la Prospección Geofísica - Edición OMEGA.
- 4.- M. Gonzales - Geomorfología y Estudio de Efectos Sísmicos en el Area Urbana de Huaraz: Informe de la Subcomisión Técnica - CRYRZA.
- 5.- Instituto de Estructuras y de la Construcción (U.N.I.) Boletines 5, 7 y 20.
- 6.- Instituto de Estructuras y de la Construcción (U.N.I.) Normas Peruanas de Diseño Antisísmico.
- 7.- Instituto Francés de Estudios Andinos - Informe Preliminar sobre el sismo del 31 de Mayo de 1970-CRYRZA.
- 8.- M. Izumi - Progreso en la Ingeniería Antisísmica y algunos Problemas Relacionados - Traducción Ing. Roberto Morales - U.N.I.

- 9.- J. Kuroiwa - Evaluación de Daños - CRYRZA.
- 10.- J. Kuroiwa - Curso Ingeniería Antisísmica - Publicación del Departamento de Estructuras - U.N.I. 1970
- 11.- J. Kuroiwa - La Ingeniería Antisísmica en el Perú
1er. Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima 1969.
- 12.- D. Krynine y W. Judd - Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros - Edición OMEGA.
- 13.- Lainez, Lozada, Navarro y Asociados - Comportamiento de las Construcciones de Adobe ante Movimientos Sísmicos. (Segunda Parte) - Asociación de Asegurados del Perú.
- 14.- G. Perez Verástegui - Estudio Hidrogeológico de la Ciudad de Huaraz: Informe de la Subcomisión Técnica CRYRZA.
- 15.- Retamal E., Norambuen C., Veiga J. y Ortigosa P. - Microregionalización Sísmica de la Ciudad de Valdivia - 1er. Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima 1969.
- 16.- UNESCO - Informe Preliminar de la Misión de Reconocimiento Sismológico referente al terremoto del Norte del Perú del 31 de Mayo de 1970 - C.E.R.E.S.I.S.

- 17.- UNESCO - Evaluación de los riesgos telúricos en el Callejón de Huaylas con vista a la reubicación de población y obras públicas - CRYRZA, Octubre 1970
- 18.- Subcomisión Técnica. (CRYRZA) - Geología y Estabilidad de Taludes de Huaraz y Alrededores - CRYRZA, Febrero 1971.
- 19.- Biblioteca Nacional y de la Sociedad Geográfica - Callejón de Huaylas, Relación de Catástrofes - Archivo Histórico, Sala de Investigaciones.