

CALIXTRO YANQUI MURILLO

Ingeniero Civil
Ingeniero Geólogo
Master of Science en Ingeniería Civil, EE.UU.
Especialista en Ingeniería de Suelos, Japón

Juan Manuel Polar B-33 J.L.B. y Rivero
Telf. (5159) 695860
Arequipa -Perú

Informe Técnico

COPASA

MICROZONIFICACIÓN SISMICA Y GEOTÉCNICA DE VIRACO

Arequipa, 20 de septiembre del 2003

INTRODUCCIÓN

1.- UBICACIÓN DE LA OBRA

La localidad de Viraco, se encuentra ubicada en el distrito del mismo nombre provincia de Castilla y departamento de Arequipa. El lugar es accesible desde la ciudad de Arequipa mediante la carretera Panamericana Sur hasta el desvío que va hacia el valle de Majes, luego a través de una carretera afirmada.

Viraco es un pueblo ubicado a una altura de 3 200 msnm. La distribución urbana es básicamente reticular con calles estrechas y construcciones de albañilería de adobe y ladrillo de uno y dos niveles.

2.- OBJETO DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene la finalidad de determinar los siguientes parámetros:

- capacidad portante de la cimentación
- profundidad de la cimentación
- características sísmicas del terreno
- microzonificación geotécnica de Viraco
- microzonificación sísmica de Viraco

Para ello, se incluyen estudios básicos y aplicados de Geomorfología, Geología, Mecánica de Suelos, Dinámica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones.

CAPITULO I

GEOMORFOLOGIA REGIONAL

1.- INTRODUCCIÓN

La geomorfología regional de la vecindad de Viraco está íntimamente relacionada con la tectónica de la Cordillera de los Andes. El relieve actual de la región es el resultado del estilo tectónico impuesto por la formación de fosas y dorsos tectónicos resultantes del levantamiento de Los Andes. Desde entonces, los diferentes agentes erosivos han actuado sobre la superficie del terreno, pero fundamentalmente los ríos y torrentes que han burilado el paisaje formando valles profundos y cerros conspicuos, casi siempre perpendiculares al eje de la Cordillera. La actividad volcánica impuso puntos geomorfológicos singulares con un estilo peculiar, a veces disonante con la tendencia geomorfológica regional. Estos mecanismos de modelaje del relieve han dejado a la vista las siguientes geoformas: casquete del Coropuna, estribaciones del Coropuna, superficie altiplánica, superficie de Viraco y Machahuay, taludes empinados, fondo del valle y valles periglaciares.

a) Casquete del Coropuna

El volcán Coropuna tiene una altura de 6 377 m.s.n.m. y se halla cubierto de un casquete de nieves perpetuas, pues, como se sabe, los glaciares se hallan sobre los 5 000 m.s.n.m. Esta unidad geomorfológica se caracteriza por exhibir una superficie en domo, suave, blanca y brillante, sin vegetación. Aún cuando no se ha observado directamente la superficie rocosa, se deduce por similitud con los volcanes vecinos que aquella es escarpada y agresiva.

b) Estribaciones del Coropuna

La superficie lateral del aparato volcánico del Coropuna se caracteriza por ser extremadamente alabeada, salpicada de afloramientos rocosos conspicuos, con un gradiente de 60% aproximadamente y constituidos por rocas lávicas y aglomerádicas poco meteorizadas.

c) Superficie altiplánica

Al pie de las estribaciones del volcán Coropuna, coronando la planicie de Pampacolca, se halla una superficie aproximadamente plana, afectada de numerosas quebradas poco profundas, de textura áspera, que siguen un modelo de drenaje paralelo y subparalelo.

d) Superficie de Viraco y Machahuay

A una profundidad aproximada de cien metros debajo de la superficie anterior, se extiende una terraza alargada, paralela al río Llacllajo, posiblemente asociada a un sistema de fallamiento normal. Esta superficie tuvo una gran extensión en el pasado, incluyendo no solamente al terreno donde se halla actualmente el pueblo de Viraco sino también los pueblos de Pampacolca, Machahuay y Pampachacra. En la actualidad, solamente quedan algunas fracciones de esta gran superficie, algunas de las cuales, como Pampachacra, es casi negligible. Sobre esta superficie fluyeron sendas lenguas lávicas provenientes del volcán Coropuna, que luego fueron erosionadas rápidamente por el dinamismo de los torrentes.

e) Taludes empinados

La erosión lineal de los ríos, que excavaron su cauce en el pasado mediante un mecanismo de erosión regresiva, originó taludes empinados en ambos flancos dando lugar a deslizamientos en suelo y en roca de magnitudes y modalidades diversas, muchos de los cuales han alcanzado el estado de equilibrio permanente como el deslizamiento de Turupatio y Parcay.

f) Fondo del valle

Con esta denominación se describe la parte mas baja de los valles que incluye los cauces y las plataformas, asociadas a la actividad agrícola y al emplazamiento de los principales pueblos del valle tales como Tipán, Tagre; Yato, etc.

g) Valles periglaciares

Estos valles forman depresiones largadas en las estribaciones del volcán Coropuna y están asociados a los manantiales, bofedales y pequeños ríos que se forman como consecuencia del drenaje superficial y subterráneo de las aguas que se acumulan debido al deshielo de los glaciares. Entre las más importantes se hallan las quebradas de Cospanja, Jollpa e Infiernillo..

CAPITULO II

GEOLOGIA REGIONAL

1.- ESTRATIGRAFIA

En la vecindad de la localidad de Viraco se ha distinguido unidades geológicas mayores que van desde el Cretácico hasta el Cuaternario Reciente, siendo las unidades más próximas e importantes para establecer el marco geológico regional las siguientes: Grupo Yura, Formación Murco, Formación Arcurquina, grupo Barroso y depósitos recientes (Olchausky y Dávila,1994; Caldas,1973).

a) Grupo Yura

Estas rocas afloran al Sureste del pueblo de Viraco, en el cerro Cabrerío y en la Cuesta de Los Angeles, donde se hallan plegadas y falladas. Descansan mediante un contacto fallado con la formación Socosani e infrayace concordantemente a las areniscas de la formación Murco. Allí se encuentran areniscas blancas de grano medio a grueso con estratificación cruzada intercalada con limolitas gris claras y oscuras que contienen restos de plantas, ondulitas y superficies con gotas de lluvia. Las capas son delgadas y medias y forman pliegues de distinta longitud de onda y amplitud.

b) Formación Murco

Esta unidad descansa a través de una superficie concordante sobre las areniscas blancas de la Formación Hualhuani y subyace en forma concordante a las calizas de la Formación Arcurquina. Aflora al Suroeste de Viraco en las lomas de Mamas, extendiéndose hacia el cerro Jollpa en el caudrángulo de Huambo. Su espesor llega hasta 250 metros. Se caracteriza por exhibir una superficie de color rojizo y verde de forma topográfica más moderada que aquella del Grupo Yura.

La formación Murco está compuesta principalmente por areniscas de color blanco, gris y rojizo, de grano fino y limolitas verdes con capas de yeso. En las areniscas blancas se puede observar nítidamente los granos de cuarzo aunque la unidad muestra bastante oxidación.

c) Formación Arcurquina

Aflora en la parte Sur de Viraco, aguas abajo del río Llacllajo y, por el otro lado, en el cerro Allipampa. Descansa mediante una discordancia angular sobre las rocas del Grupo Yura y de la formación Murco.e infrayace discordantemente a los volcánicos del Grupo Tacaza. Las calizas de la formación Arcurquina son grises, se presentan en estratos gruesos que llegan hasta 2 m de espesor.

d) Grupo Barroso

Al Sur del Nevado Coropuna, afloran andesitas de grano medio con cristales bien formados de plagioclasa que llegan a 7 mm de largo por 4 mm de ancho. El material volcánico se encuentra cubierto por morrenas y por lavas recientes. Al

Noroeste de Pampacolca, en el lugar denominado San Antonio, las lavas tienen estructura fluidal, exhiben un color gris y son de composición dacítica, estando orientados los cristales de plagioclasa. En este lugar, las lavas chocan contra un afloramiento del Grupo Tacaza, cuyo relieve pronunciado en el cerro Huancarcota ya existía durante la efusión del Grupo Barroso.

e) Depositos glaciofluviales

Los depósitos glaciofluviales pleistocénicos ocupan las partes más bajas del Nevado Coropuna, restringidas a las planicies y quebradas pequeñas y están constituidos principalmente por los mismos elementos que las morrenas.

f) Depositos aluviales recientes

Bajo esta denominación se describen los materiales fluviales que ocupan los cauces actuales de los ríos, los depósitos coluviales y eluviales importantes.

2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la vecindad de Viraco, las estructuras geológicas está asociadas a los movimientos tectónicos cenozoicos. Las rocas mesozoicas han sido afectadas por una tectónica plicativa, desarrollando pliegues de diferente magnitud y dirección, asociados a la fase tectónica Peruana, que ocurrió a fines del Mesozoico. Las rocas cenozoicas muestran una deformación casi nula.

Aunque no se han encontrado evidencias directas de la existencia de fallas en la vecindad de Viraco, las fotografías aéreas muestran un serie de líneas, algunas de las cuales están asociadas a los valles mayores actuales

CAPITULO III

GEOMORFOLOGIA LOCAL

1.- RELIEVE

La localidad de Viraco está emplazada en un interfluvio de corona casi plana, inclinada 7° hacia el Suroeste, con una proyección horizontal en forma de hoja, limitada por unos taludes suaves en ambos lados que actualmente son usados en la agricultura. El sitio está limitado por dos quebradas: Sumilla y Jallpa, que nacen en las estribaciones del volcán Coropuna y confluyen al Norte del pueblo de Yaso. En el centro del interfluvio existe una depresión paralela a las quebradas, probablemente formada por la erosión de una lengua glaciaria o por el avance de los flujos lávicos, quedando reducida a un valle sin drenaje. En el dorso derecho se asienta el pueblo de Viraco. Todos los ríos y quebradas profundizan su cauce mediante un mecanismo de erosión regresiva. Específicamente, el dorso de Viraco presenta dos unidades geomorfológicas bien definidas: taludes moderados y terrazas de flujo. A su vez, éstas pueden dividirse en pequeñas subunidades.

a) Taludes moderados de Viraco

Comprende los terrenos que circundan al pueblo y que se caracterizan por presentar una inclinación monotonía y suave, mayormente, hacia las quebradas. Esta superficie está asociada a unos pequeños afloramientos rocosos, principalmente en los puntos de rotura de la pendiente, y , también a la terracería menuda de origen antrópico donde se cultivan los tubérculos y la alfalfa.

b) Terraza de Viraco

El terreno donde se asienta el pueblo de Viraco constituye la corona del talud y tiene la forma de una hoja que se extiende en la dirección Sureste. En términos generales, es una superficie compuesta de terrazas consecutivas, formadas por materiales diversos, tales como aluviales, eluviales y piroclásticos. Los materiales aluviales, que actualmente están enterrados, se acumularon en dos pequeñas quebradas someras que corrían en el centro de la terraza para, luego, desembocar en la quebrada Sumilla. Las terrazas siguen aproximadamente las arrugas de compresión formadas durante el flujo lávico. En total, se distinguen cuatro terrazas:

Terraza 1 .- que ocupa la parte más baja del pueblo e incluye el campo deportivo, el rodil y la franja Suroeste.

Terraza 2.- que ocupa la parte central del pueblo y se alarga como un dorso hasta la plaza de armas.

Terraza 3.- que se restringe a la parte alta, en los alrededores del mirador.

Terraza 4.- de tamaño muy pequeño, comprende el terreno que ocupa COPASA y la manzana vecina.

2.- DRENAJE SUPERFICIAL

En la superficie de Viraco no hay un colector de aguas superficiales, salvo los canales de regadío que corren por el pueblo y en los terrenos de cultivo. Las pequeñas quebradas, afluentes de la quebrada Sumilla, han sido anuladas, primero por la acumulación de los materiales piroclásticos provenientes del volcán Coropuna y, luego, por el efecto erosivo del hombre. En todo caso, los mecanismos de evacuación del agua pluvial son las arroyadas difusa y concentrada, definidas por el paisaje urbano.

3.- HIDRAULICA SUBTERRÁNEA

En la vecindad del pueblo de Viraco no se han encontrado evidencias de la proximidad del nivel freático. Esto se debe al hecho de que el sustrato rocoso, formado por una aglomerado volcánico, es altamente permeable y que la intercepción del manto freático con la superficie del terreno se da en los valles periglaciares.

CAPITULO IV

GEOLOGIA LOCAL

1.- ESTRATIGRAFÍA LOCAL

Las unidades geológicas reconocidas son: Volcánico Barroso, Flujo de barro, material aluvial, material eluvial 1, material aluvional, material eluvial 2 y material eluvial antrópico.

a) Volcánico Barroso (TQp-ba)

En los alrededores de Viraco afloran andesitas oscuras de grano fino con fenocristales de plagioclasa sódica que llegan a 5 mm de tamaño. Se ha distinguido dos facies: la roca lávica y el aglomerado volcánico. La primera se halla a cierta profundidad y el segundo cubre los límites de la corona del talud de Viraco y, fundamentalmente, las partes más alta y más baja del pueblo, acompañado de sendas roturas de pendiente. Esta distribución de las facies se debe al mecanismo de flujo termoviscoso que enfría y solidifica la parte superficial de la colada lávica formando bloques y fragmentos que luego son engullidos por la masa fluidal lávica subyacente, en tanto los gases y vapores forman zeolitas y cuerpos porosos. El resultado final de este proceso es la formación de una masa rocosa discontinua cerca de la superficie constituida de grandes bloques, que en una etapa avanzada del flujo, pueden estar completamente separados unos de otros, conteniendo una matriz de fragmentos y granos angulosos y porosos, que son meteorizados rápidamente, formando arena y limo, a veces algo cementados. Esta textura particular de los aglomerados volcánicos puede observarse en el cerro de Quian.

b) Flujo de barro (Q-fb)

Se extiende desde la parte alta del cerro de Arejocha, que se halla al Suroeste de Viraco, hasta la parte baja de Yaso, extendiéndose en ambos flancos de la quebrada Jollpa. Este flujo de barro, que siguió la trayectoria de la quebrada Sumilla, está compuesto de bloques y fragmentos de forma angulosa y subangulosa, generalmente de composición andesítica y tobácea, engastados en una matriz heterométrica de arena gravosa blanquecina cementada por sílice, todos de origen volcánico piroclástico, trasladados por un flujo lahárico torrentoso

c) Material aluvial (Qr-a)

Este material está relacionado a las quebradas enterradas y se describe como una secuencia interestratificada de arena gravosa y limo arenoso. La arena gravosa es de color oscuro, suelto, regularmente graduada, deleznable, con fragmentos redondeados y subredondeados, de composición andesítica, de textura porfirítica, estratificada horizontalmente. El limo arenoso es de color beige oscuro, medianamente suelto, mal graduado, pobremente cohesivo, de baja plasticidad, estratificada en capas horizontales, medias a finas, con varves.

En el pozo de exploración 5, se describe como una arena limpia de color gris blanquecino, medianamente suelta, mal graduada, deleznable, con fragmentos subredondeados de composición andesítica.

d) Material eluvial 1 (Qr-e1)

Este material está asociado a una primera etapa piroclástica del volcán Coropuna que arrojó ceniza y lapilli. Se describe como una arena limosa de color pardo grisáceo, medianamente denso, mal graduado, nada cohesiva, masiva.

e) Material aluvional (Qr-av)

Se describe como arena limosa de color beige oscuro que grada hasta un limo arcillo-gravoso de color beige rojizo, denso, mal graduado, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, con fragmentos angulosos y subangulosos de composición andesítica, masivo. Esta unidad está asociada con la existencia de unas cavernas de pequeña extensión y potencia, formadas por la falta de concordancia entre la consolidación y la cementación de los estratos.

f) Material eluvial 2 (Qr-e2)

Se describe como un limo de color beige a café oscuro, medianamente denso, algo cohesivo, de baja plasticidad, a veces masivo y a veces con trazas de una estratificación horizontal en capas finas, formadas por meteorización de la ceniza y lapilli.

g) Material eluvial-antrópico (Qr-eh)

Se describe como un limo arenoso con grava, de color beige oscuro, suelto, mal graduado, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, La grava se halla embebida y está compuesta de fragmentos andesíticos y riolíticos.

CAPITULO V

MECANICA DE SUELOS

1.- EXPLORACION DEL SUBSUELO

Con el propósito de obtener información del subsuelo, se abrieron nueve pozos de exploración a cielo abierto (calicatas) de hasta 7,00 metros de profundidad, ubicados en los lugares más representativos de las unidades geológicas y geomorfológicas. El pozo 1 se halla en un costado del terreno que actualmente ocupa COPASA, el pozo 2, en la intersección de las calles Bolognesi y Carmen Alto, el pozo 3, en la calle Dos de Mayo pueblo, el pozo 4, en la intersección de las calles Comercio y Jorge Chavez, el pozo 5, en la calle Siglo XX, cerca de Dos de Mayo, el pozo 6, en la misma calle, cerca de Grau, el pozo 7, en el lado Sur de la plaza de toros, el pozo 8, entre las calles Grau y San Antonio, y el pozo 9, denominación de un corte natural, en el lado Oeste del Mirador.

2.- TOMA DE MUESTRAS

En los pozos de exploración se tomaron muestras alteradas e inalteradas con el propósito de ser ensayadas en el laboratorio. Dichas muestras siguieron la distribución vertical de las unidades geológicas en los pozos.

3.- ENSAYOS

Se efectuaron los siguientes ensayos, según el caso:

- a) En el sitio
 - i) Densidad natural
- b) En el laboratorio
 - i) Densidad en seco
 - ii) Contenido de agua
 - iii) Densidad mínima en seco
 - iv) Densidad máxima en seco
 - v) Densidad relativa
 - vi) Granulometría
 - vii) Gravedad específica de los sólidos
 - viii) Porosidad
 - ix) Índice de poros
 - x) Corte directo

4.- CLASIFICACION

Las unidades geológicas descritas en los pozos de exploración pueden ser clasificadas usando el Sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCS), que se basa únicamente en las características granulométricas y plásticas de las muestras alteradas.

- a) Volcánico Barroso (TQp-vb) : Aglomerado volcánico
- b) Flujo de barro (Q-fb) : GP-GM, grava limosa mal graduada
- c) Material aluvial (Qr-a) : SW-SM, arena limosa bien graduada
- d) Material eluvial 1 (Qr-e1) : SM, arena limosa
- e) Material aluvional (Qr-av) : SM, arena limosa
- f) Material eluvial 2 (Qr-e2) : ML, limo de baja plasticidad
- g) Material eluvial-antrópico (Qr-eh) : ML-CL, limo arcilloso de baja plasticidad

CAPITULO VI

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

1.- CAPACIDAD PORTANTE DE LAS CIMENTACIONES

La capacidad portante última del suelo puede ser calculada a partir de las características físicas y mecánicas del suelo, la geometría de las zapatas y un mecanismo racional de falla. En la actualidad, se usa el mecanismo de Hansen, que incluye un buen número de parámetros semi-empíricos. La capacidad portante admisible se obtiene, en este caso, dividiendo la capacidad portante última entre un factor de seguridad de 3,0.

El asentamiento de las zapatas puede ser determinado a partir de la teoría de la elasticidad. Cuando un suelo es homogéneo e isótropo, la solución de Boussinesq ofrece la mayor simplificación y puede ser integrada para cualquier forma de la zapata. Siguiendo la recomendación de Terzaghi y Peck, se ha tomado como máximo asentamiento tolerable 2,54 cm.

En el presente caso, se ha considerado para el cálculo de la capacidad portante una cimentación típica de una vivienda de interés social construida bajo una estructuración de albañilería confinada de 0,60 metros de ancho.

2.- CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DE DISEÑO

Con fines de diseño, se han considerado las propiedades físicas y mecánicas obtenidas bajo las siguientes hipótesis de trabajo: el lugar soporta fuertes y persistentes lluvias durante los meses de diciembre a marzo, el suelo es predominantemente fino con fuerte tendencia a la capilaridad y saturación, manteniendo una baja conductividad hidráulica, el subsuelo presenta cavernas singenéticas cuyo impacto en la capacidad portante del suelo es impredecible, la resistencia de la mayoría de suelos encontrados es muy sensible al contenido de humedad, algunos horizontes tienen una baja densidad relativa.

3.- ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Siendo el área de estudio relativamente grande, es necesario dividir el suelo en zonas de características similares desde el punto de vista geotécnico. El análisis puntual de cada pozo de exploración conduce a la conclusión de que la capacidad portante admisible del suelo varía entre 0,95 y 1,27 kg/cm², con un promedio y una tendencia a 1,0 kg/cm², por lo cual se ha tomado este valor como representativo, habida cuenta de la flexibilidad del factor de seguridad y de las condiciones de cimentación asumidas. El aglomerado volcánico ha sido analizado como una masa rocosa, habiendo alcanzado un valor mucho mayor para la capacidad portante. En base a estos datos, el plano

geomorfológico local, el plano geológico local y la exploración del subsuelo, se concluye que existen dos zonas geotécnicas:

GT1- Rocas volcánicas

Esta unidad está relacionada a la franja de contacto entre los taludes suaves y moderados y las terrazas de Viraco y, obviamente a la unidad geológica denominada aglomerado volcánico. Usando los métodos de la Mecánica de Rocas se han determinado sus características de cimentación:

Profundidad de desplante : $D_f = 0,50 \text{ m}$
 Capacidad portante admisible : $q_a = 18,3 \text{ kg/cm}^2$.

GT2- Suelo de Viraco

Bajo esta denominación se describen los materiales aluviales, aluvionales, piroclásticos, eluviales y antrópicos que se extienden en como un cobertor de grosor variable sobre las rocas volcánicas del Barroso. Comprenden casi toda la terraza donde se halla Viraco. Sus características de cimentación son:

Profundidad de desplante : $D_f = 1,00 \text{ m}$
 Capacidad portante admisible : $q_a = 1,00 \text{ kg/cm}^2$

CAPITULO VII

ZONIFICACIÓN SISMICA

1.- DINÁMICA DE SUELOS

Los suelos son sustancias que exhiben un comportamiento peculiar frente a las sollicitaciones dinámicas, como los terremotos y las explosiones. Los suelos son de naturaleza discontinua y trifásica, es decir, están compuestos de partículas individuales conectadas a través de contactos casi puntuales formando poros debido a su ensamblaje, los cuales se hallan llenos de agua y aire, pudiendo estar secos si sólo contienen aire o saturados, si sólo incluyen al agua. La interacción entre las distintas fases y el carácter flexible de los contactos entre partículas hacen que los suelos modifiquen las características de las ondas o cambien de estado. Las investigaciones en el laboratorio y las observaciones en el campo han conducido a la conclusión que los suelos pueden sufrir los siguientes fenómenos durante los terremotos: amplificación dinámica, licuación dinámica, inestabilidad de taludes, densificación dinámica.

a) Amplificación dinámica

Las ondas que provienen del interior de la tierra sufren modificaciones cuando pasan de una unidad geológica a otra de diferente rigidez. Muchas ciudades, como México, Caracas y Arequipa, exhiben una cobertura de suelo blando, de naturaleza aluvial o paludial, que descansa sobre un sustrato de roca dura. En los terremotos pasados se ha observado que el comportamiento sísmico de las estructuras en tales ciudades ha sido altamente dependiente de las características geológicas y geométricas de los depósitos, sufriendo diferentes niveles de daño edificaciones de iguales características estructurales ubicadas en lugares distintos. Este desigual comportamiento ha sido explicado como consecuencia de las múltiples reflexiones que sufren las ondas sísmicas cuando atraviesan los diferentes estratos, que actúan como filtros mecánicos. La demarcación de las regiones que muestran similar respuesta frente a las sondas sísmicas se conoce como microzonificación sísmica.

El estudio del fenómeno de amplificación sísmica puede ser abordado modelando el suelo como una viga cizallable con un extremo fijo y otro libre.

b) Licuación dinámica

La licuación dinámica es un fenómeno de pérdida de resistencia de los suelos arenosos saturados por efecto de un incremento de la presión de poros durante la aplicación cíclica de un nivel de carga externa. Cuando la pérdida de resistencia es total, el suelo se comporta como un fluido viscoso, pudiendo exhibir características tales como la aparición de fuentes de arena y el hundimiento de las estructuras emplazadas en el lugar. A nivel mundial, son famosos los casos de licuación ocurridos durante los terremotos de Alaska (Seed y Wilson, 1967) y de Niigata (Ohasaki, 1966) en 1964 y de Puerto Mont en 1960 (Rosenblueth, 1961). En el Perú se conoce el caso de licuación de Chimbote durante el terremoto de 1970 (Ericksen et al. 1970), entre otros.

c) Densificación dinámica.

La densificación dinámica de las arenas es un fenómeno que consiste en la reducción del volumen de poros por efecto del reacomodo de las partículas sometidas a sollicitaciones dinámicas, tales como aquellas surgidas durante los terremotos.

d) Inestabilidad de taludes

La inestabilidad dinámica de los taludes es un fenómeno muy frecuente en el Perú, más que en otros países. En efecto, se ha observado que muchos taludes que en condiciones estáticas son estables pueden llegar al colapso durante o después de un terremoto. El ejemplo más típico lo constituye la espectacular soliflucción que ocurrió en el talud Sur del pueblo de Maca en el valle del río Colca, durante el terremoto del 23 de julio de 1991.

2.- PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO

Las propiedades dinámicas del suelo pueden ser determinadas mediante pruebas de campo o del laboratorio, usando equipos sofisticados. En el laboratorio, se realizan alternativamente los siguientes ensayos:

- Compresión triaxial oscilatoria
- Corte simple oscilatorio
- Prueba de la columna resonante

En el campo, se tiene los siguientes ensayos más difundidos:

- Método de propagación de onda a través de los huecos
- Método de propagación de onda hueco arriba
- Método de propagación de onda hueco abajo
- Método de propagación de ondas superficiales
- Ensayo del bloque resonante

En el presente trabajo, las propiedades dinámicas fueron halladas usando las relaciones empíricas propuestas por varios autores (v.g. : Das, 1983; Colindres, 1983), comparando los resultados y ajustando las cifras a los numerosos datos experimentales (v.g.: Seed et al, 1976; Prakash, 1981).

a) Módulo dinámico de corte

El módulo de rigidez al corte se determinó usando las fórmulas propuestas por Hardin y Richart (1973).

$$G = \frac{2.630(2.17 - e)^2}{1 + e} (\bar{\sigma}_v)^{0.5}$$

para arenas de granos redondeados que cumplen la condición de que $e < 0.80$, y

$$G = \frac{1230(2.97 - e)^2}{1 + e} (\bar{\sigma}_o)^{0.5}$$

para materiales de granos angulosos.

El esfuerzo octaédrico efectivo, $\bar{\sigma}_o$, varía con la profundidad y depende del esfuerzo lateral “en reposo”, según la relación

$$\bar{\sigma}_o = \frac{1 + 2k_o}{3} \gamma_b z$$

Según esto, se obtienen los valores siguientes:

Unidad	Grosor (m)	Módulo de rigidez (kg/cm ²)
Suelo de Viraco 1	10	325
Suelo de Viraco 2	6	252
Aglomerado volcánico	40	13 415
Roca	-	∞

b) Velocidad de propagación de las ondas de corte

Esta característica se evalúa mediante la ecuación conocida

$$v = \sqrt{\frac{Gg}{\gamma_t}}$$

donde g es la aceleración de la gravedad. Para los tres materiales, se tiene

$$\begin{aligned} v_{s1} &= 145 \text{ m/seg} \\ v_{s2} &= 128 \text{ m/seg} \\ v_r &= 725 \text{ m/seg} \end{aligned}$$

c) Factor de amortiguamiento

El factor de amortiguamiento es un parámetro menos susceptible de ser medido para una formación geológica dada. Por esto, y observando que varía en relación inversa a la velocidad de onda, aquel se estimó usando la relación (Yanqui, 1990):

$$D = \frac{20}{v}$$

donde v está dada en m/seg y D es adimensional. Para los casos mencionados, se tiene

$$\begin{aligned} D_s &= 14 \% \\ D_{s1} &= 16 \% \\ D_{s2} &= 3 \% \end{aligned}$$

3.- AMPLIFICACION DINAMICA DEL SUELO DE VIRACO

El problema fundamental en el estudio de la amplificación dinámica del suelo radica en determinar si las condiciones del lugar se ajustan al modelo de la viga de corte y, si esto ocurriera, qué profundidad tienen los estratos. A partir del análisis geológico y geomorfológico de la región se deduce que la superficie del sustrato rocoso es aproximadamente plano y está asociado a una colada lávica que provino del volcán Coropuna. En consecuencia, el subsuelo de Viraco puede ser modelado como un sistema de tres capas horizontales: el sustrato rocoso rígido, el aglomerado volcánico de elevada rigidez relativa y el suelo de viraco.

4.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VIRACO

En base al análisis de la amplificación sísmica se han determinado las siguientes microzonas sísmicas para la localidad de Viraco:

Zona I.- Referida al sustrato rocoso constituido por el aglomerado volcánico del Barroso, se extiende en los flancos Noreste y Suroeste del pueblo. Esta es una zona no propensa a ningún tipo de inestabilidad sísmica. El periodo fundamental de vibración ha sido determinado como 0,22 s.

Zona II.- Referida al material eluvial que descansa directamente sobre el sustrato rocoso, con una potencia menor a 6,0 m. Se extiende en forma de H distorsionada desde la plazuela Grau hacia los cuatro puntos cardinales, siendo el brazo Este el más extenso y prolongado, llegando hasta el campo deportivo. Esta zona es sísmicamente estable, exhibiendo un periodo fundamental de vibración de 0,24 s.

Zona III.- Referida a la capa más gruesa del suelo de Viraco, comprende dos porciones separadas: una, en la parte alta de Viraco, asociada a los suelos piroclásticos-eluviales y al dorso geomorfológico más conspicuo, y, otra, en la parte central del pueblo, incluyendo los espacios ocupados por las antiguas quebradas. Esta es una zona sísmicamente estable. El periodo fundamental de vibración es de 0,3 s.

ANEXOS

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 01	Cota	
Fecha	27/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO-NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00				∴∴∴∴∴∴	<i>Arena limosa de color beige, densa, cohesiva, de baja plasticidad, estratificada en capas finas a medianas, con varves, húmeda en el sitio; geológicamente de origen eluvial-antrópico.</i>
0,20				∴∴∴∴∴∴	
0,40	0,40	VI-106	SM	∴∴∴∴∴∴	
0,60				∴∴∴∴∴∴	
0,80	0,80	-----	-----	∴∴∴∴∴∴	
1,00				-	
1,20					<i>Secuencia interestratificada de contacto difuso, de arena y limo. La arena es de color oscuro y el limo es de color beige, medianamente denso, regularmente deleznable, estratificado horizontalmente en capas medias y finas, con varves, húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial-volcánico.</i>
1,40				∴∴∴∴∴∴	
1,60	1,60	VI-105	SM		
1,80				∴∴∴∴∴∴	
2,00					
2,20				∴∴∴∴∴∴	
2,40	2,30 2,40	VI-104	SP		<i>Arena de color blanquecina, medianamente densa, pobremente graduada, deleznable, compuesta por granos subredondeados, de composición pomácea, de estructura masiva, húmeda en el sitio; geológicamente de origen piroclástico.</i>
2,60				∴∴∴∴∴∴	
2,80	2,70	-----	-----	∴∴∴∴∴∴	
3,00				-----	
3,20	3,20	VI-103	ML		
3,40					<i>Limo de color café pardusco, denso, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, con varves, con fragmentos embebidos (bombas), húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial.</i>
3,60					
3,80	3,80	-----	-----		
4,00					
4,20					
4,40				∴∴∴∴∴∴	<i>Arena limosa de color pardo grisáceo, densa, mal graduada, regularmente cohesiva, nada plástica, masiva, formada a expensas de la ceniza volcánica, húmeda en el sitio geológicamente de origen eluvial.</i>
4,60				∴∴∴∴∴∴	
4,80				∴∴∴∴∴∴	
5,00				∴∴∴∴∴∴	
5,20				∴∴∴∴∴∴	
T-				∴∴∴∴∴∴	

5,40 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
5,60 -	5,70	VI-102	SM	∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
5,80 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
6,00 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
6,20 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
6,40 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
6,60 -	6,60	-----	-----	∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
6,80 -	6,80	VI-101	SM	∴ ∴ ∴ ∴	-----
-				∴ ∴ ∴ ∴	
7,00 -	7,00			∴ ∴ ∴ ∴	<i>Arena limosa de color gris pardusco, densa, regularmente</i>
-				∴ ∴ ∴ ∴	<i>graduada, cohesiva, compuesta por granos angulosos de</i>
7,20 -				-----	<i>composición andesítica de estructura masiva, húmeda en el sitio;</i>
-				-	<i>geológicamente de origen aluvional.</i>
7,40 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
7,60 -				∴ ∴ ∴ ∴	
-				∴ ∴ ∴ ∴	
7,80 -					
-					
8,00 -					
-					
8,20 -					
-					
8,40 -					
-					
8,60 -					
-					
8,80 -					
-					
9,00 -					

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 02	Cota	
Fecha	27/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO-NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00 -				∴∴∴∴∴∴	<i>Limo arenoso de color beige, denso, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, con estratificación horizontal no muy bien definida, en capas finas, húmedo en el sitio, geológicamente de origen eluvial, formado a partir de ceniza y lapilli.</i>
0,20 -				∴∴∴∴∴∴	
0,40 -				∴∴∴∴∴∴	
0,60 -				∴∴∴∴∴∴	
0,80 -				∴∴∴∴∴∴	
1,00 -	1,05	-----	-----	∴∴∴∴∴∴	
1,20 -				-----	
1,40 -					
1,60 -					
1,80 -					
2,00 -					<i>Limo de color beige oscuro, suelto, mal graduado, deleznable, con baja plasticidad, con estructura masiva, formando estructuras peculiares como grava y arena de granos separados por burbujas de aire atrapado. húmedo en el sitio; geológicamente de origen aluvional</i>
2,20 -	2,30	VI-204	ML		
2,40 -					
2,60 -					
2,80 -					
3,00 -					
3,20 -	3,30	-----	-----		
3,40 -				-----	
3,60 -				-----	
3,80 -	3,70	VI-203	SM	∴∴∴∴∴∴	
4,00 -				∴∴∴∴∴∴	<i>Arena limosa de color beige, medianamente densa, de baja plasticidad, estratificada en capas medianas, con slumping, húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvional, formada por ceniza volcánica transportada y luego meteorizada.</i>
4,20 -	4,10	-----	-----	∴∴∴∴∴∴	
4,40 -				-----	
4,60 -				∴∴∴∴∴∴	
4,80 -	4,70	VI-202	SM	∴∴∴∴∴∴	
5,00 -				∴∴∴∴∴∴	
5,20 -	5,20	VI-201	SP-SM	∴∴∴∴∴∴	
5,40 -				∴∴∴∴∴∴	
				∴∴∴∴∴∴	
				∴∴∴∴∴∴	

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 03	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO- NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00 -				: : : : :	<i>Limo arcilloso de color beige, denso, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, masivo, con restos de cerámica, carbón vegetal reciente, horadado por los gusanos, húmedo en el sitio; geológicamente de origen antrópico.</i>
0,20 -				: : : :	
0,40 -				: : : : :	
0,60 -				: : : :	
0,80 -	0,90	VI-303	ML-CL	: : : : :	
1,00 -				: : : :	
1,20 -				: : : : :	
1,40 -				: : : :	
1,60 -				: : : : :	
1,80 -	1,90	-----	-----	: : : :	
2,00 -				: : : : :	<i>Arena limosa de color beige oscuro, medianamente densa, mal graduada, regularmente cohesiva, con fragmentos subredondeados de composición andesítica y pómea, masiva, con escasas raíces vegetales filamentosas, húmeda en el sitio; geológicamente de origen eluvial.</i>
2,20 -				: : : :	
2,40 -				: : : : :	
2,60 -	2,70	VI-302	SM	: : : :	
2,80 -				: : : : :	
3,00 -				: : : :	
3,20 -	3,30	-----	-----	: : : : :	
3,40 -				: : : :	
3,60 -				: : : : :	
3,80 -	3,70	VI-301	SW-SM	: : : :	
4,00 -				: : : : :	<i>Arena limosa con grava sin finos, de color gris, densa, bien graduada, deleznable, con fragmentos subangulosos de composición andesítica y pómea, de textura compacta, masiva, con estratificación graduada, húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvial.</i>
4,20 -				: : : :	
4,40 -				: : : : :	
4,60 -	4,70	-----	-----	: : : :	
4,80 -				: : : : :	
5,00 -	5,00	-----	-----	: : : :	
				: : : : :	
				: : : :	
				: : : : :	
				: : : :	
				: : : : :	<i>Roca andesítica aglomerádica de color oscuro.</i>

				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ----- v	
--	--	--	--	--	--

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 04	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO-NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00 -					<i>Limo de color café oscuro, medianamente denso, cohesivo, de baja plasticidad, masivo, húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial.</i>
0,20 -					
0,40 -					
0,60 -					
0,80 -					
1,00 -	1,10	VI-403	ML		
1,20 -					
1,40 -					
1,60 -					
1,80 -					
2,00 -	1,90	-----	-----	-----	
2,20 -				∴∴∴∴∴∴	<i>Arena limosa de color beige rojizo, densa, mal graduada, regularmente cohesiva, de baja plasticidad, con fragmentos angulosos y subangulosos de composición andesítica, masiva, con cavernas de 5 cm de altura, húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvional.</i>
2,40 -				∴ ∴∴∴∴	
2,60 -				∴∴ ∴∴∴∴	
2,80 -				∴∴∴∴ ∴∴	
3,00 -				∴∴∴∴	
3,20 -				∴∴∴∴∴∴	
3,40 -	3,40	VI-402	SM	∴ ∴∴∴∴	
3,60 -				∴∴∴∴ ∴∴	
3,80 -				∴∴∴∴∴∴	
4,00 -				∴∴∴∴∴∴	
4,20 -	4,10	-----	-----	∴∴∴∴	
4,40 -				∴ ∴∴∴∴	
4,60 -				∴∴∴∴-----	

				∴∴∴∴∴∴	

4,80 -				: : :	<p><i>Arena limosa de color pardo grisáceo, medianamente densa, mal graduada, regularmente cohesiva, de baja plasticidad, masiva, compuesto de ceniza y lapilli, con bloques engastados de hasta 36 cm, húmeda en el sitio; geológicamente de origen eluvial</i></p>
5,00 -				: : : :	
5,20 -	5,20	VI-401	SM	: : :	
5,40 -				: : : :	
5,60 -				: : :	
5,80 -	5,70			: : : :	
6,00 -				: : :	
6,20 -				: : : :	
6,40 -				: : :	
6,60 -				: : : :	
6,80 -				: : :	
7,00 -				: : : :	
7,20 -				: : :	
7,40 -					
7,60 -					
7,80 -					
8,00 -					

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 05	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO- NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
-1,00	0,85			: : : : :	<i>Limo arcilloso, de color beige oscuro, suelto, mal graduado, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, compuesto de fragmentos andesíticos y riolíticos, con presencia de restos óseos y carbón vegetal, húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial-antrópico.</i>
-0,80					
-0,60					
-0,40					
-0,20					
0,00					
0,20					
0,40					
0,60					
0,80					
1,00					
1,20					
1,40					
1,60					
1,80	1,30	VI-503	ML-CL	: : : : :	
2,00					
2,20					
2,40					
2,60					
2,80					
3,00					
3,20					
3,40					
3,60					
3,80	2,90	VI-502	GW	: : : : :	<i>Grava de color gris blanquecino, medianamente suelta, bien graduada, deleznable, con fragmentos subredondeados de composición andesítica (80%) y riolítica (20%), húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvional.</i>
4,00					
4,20					

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 06	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO- NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00 -					<i>Limo de color beige, medianamente denso, regularmente cohesivo, medianamente plástico, masivo, con horadaciones de gusanos húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial.</i>
0,20 -					
0,40 -					
0,60 -					
0,80 -					
1,00 -					
1,20 -					
1,40 -					
1,50 -	1,50	-----	-----	-----	
1,60 -				-----	
1,80 -				: : : :	
2,00 -				: : : :	
2,20 -				: : : :	
2,40 -				: : : :	
2,60 -				: : : :	
2,80 -				: : : :	
3,00 -				: : : :	
3,20 -				: : : :	
3,40 -	3,40	VI-603	ML-CL	: : : :	
3,60 -				: : : :	
3,80 -				: : : :	
4,00 -				: : : :	
4,20 -				: : : :	
4,40 -				: : : :	
4,50 -	4,50	-----	-----	: : : :	
4,60 -				: : : :	
4,80 -				: : : :	
5,00 -				: : : :	
5,20 -	5,30	VI-602	SM	: : : :	
5,40 -				: : : :	

5,60				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴	<p><i>Arena limosa de color pardo grisáceo , medianamente densa, mal graduada, nada cohesiva, compuesta por ceniza y lapilli meteorizados, de estructura masiva, húmeda en el sitio geológicamente de origen eluvial.</i></p>	
5,80				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
5,00				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
6,20				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
6,40				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
6,60	6,50	-----	-----	∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
6,80	6,60	VI-601	SM	∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
7,00	6,70			∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		-----
7,20				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		<p><i>Arena limosa de color gris, densa, mal graduada, regularmente cohesiva, estratificada horizontalmente en capas medianas y finas, húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvial.</i></p>
7,40				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ -----		
7,60				----- ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
7,80				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		
8,00				∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴ ∴∴∴∴∴∴		

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 07	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER. - VACIO-NES	SUCS	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
0,00 -				: : : : :	<i>Limo arenoso con grava, de color beige oscuro, medianamente denso, regularmente cohesivo, de baja plasticidad, masivo húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial-antrópico antiguo.</i>
0,20 -				: : : :	
0,40 -				: : : : :	
0,60 -				: : : :	
0,80 -				: : : :	
1,00 -				: : : :	
1,20 -				: : : : :	
1,40 -				: : : :	
1,60 -	1,50	-----	-----	: : : :	
1,80 -				-----	
2,00 -				: : : : :	
2,20 -				: : : :	
2,40 -				: : : : :	
2,60 -				: : : :	
2,80 -				: : : :	<i>Arena limosa de color pardo grisáceo, medianamente suelta, mal graduada, poco o nada cohesiva, masiva, con cavernas de 20 cm de altura, húmeda en el sitio; geológicamente de origen aluvional.</i>
3,00 -				: : : :	
3,20 -				: : : : :	
3,40 -				: : : :	
3,60 -	3,70	VI-701	SM	: : : :	
3,80 -				: : : : :	
4,00 -				: : : :	
4,20 -				: : : : :	
4,40 -	4,30	-----	-----	: : : :	
4,60 -				: : : :	
4,80 -				: : : :	<i>Arena limosa de color pardo grisáceo, medianamente suelta, mal graduada, regularmente cohesiva, nada plástica, húmeda en el sitio geológicamente de origen aluvial</i>
5,00 -	5,00	-----	-----	-----	
5,20 -	5,10	-----	-----	: : : :	

-				: : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : : ----- v	<i>Roca andesítica conglomerádica de color oscuro.</i>
---	--	--	--	--	--

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 08	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER - VACIO-NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN	
0,00 -					<i>Limo de color café oscuro, medianamente denso, medianamente cohesivo, medianamente plástico, masivo, compuesto por ceniza y lapilli meteorizados, con presencia de restos óseos y carbón vegetal, húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial-antrópico.</i>	
0,20 -						
0,40 -						
0,60 -						
0,80 -						
1,00 -	1,00	-----	-----			
1,20 -				: : : : :		
1,40 -				: : : : :		
1,60 -				: : : :		
1,80 -	1,70	VI-801	ML	: : : : :		
2,00 -				: : : : :	<i>Limo arenoso de color beige, medianamente suelto, poco o nada cohesivo, de baja plasticidad, compuesto por ceniza y lapilli en proceso de meteorización, húmedo en el sitio; geológicamente de origen eluvial.</i>	
2,20 -				: : : : :		
2,40 -				: : : :		
2,60 -	2,60	-----	-----	: : : : :		
2,80 -				: : : :		
3,00 -	3,00			----- v		
3,20 -						<i>Roca andesítica aglomerádica de color oscuro.</i>
3,40 -						
3,60 -						
3,80 -						
4,00 -						
4,20 -						

4,40 -				V V V V V V V	
-				V V V V V V V	
4,60 -				V V V V V V V	
-				V V V V V V V	
4,80 -				V V V V V V V	
-				V V V V V V V	
5,00 --				V V V V V V V	
-				V V V V V V V	
5,20 -				V V V V V V V	
-				V V V V V V V	
				V V V V V V V	
				V V V V V V V	
				V V V V V V V	
				V V V V V V V	

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Obra	Microzonificación de Viraco		
Localización	Viraco-Castilla-Arequipa		
Solicitado por	COPASA		
Sondeo	Pozo 09	Cota	
Fecha	28/08/03	Hecho por	C.Y.M.

PROF. (m)	PROF. OBSER. (m)	OBSER. - VACIO-NES	SUCS	SIMBOL O	DESCRIPCIÓN
0,00 -				: : : : :	
-				: : :	
0,20 -				: : : : :	
-				: : : :	
0,40 -				: : : : :	
-				: : : :	
0,60 -				: : : : :	
-				: : : :	
0,80 -				: : : : :	
-				: : : :	
1,00 -				: : : : :	
-				: : : :	
1,20 -				: : : : :	
-				: : : :	
1,40 -				: : : : :	
-				: : : :	
1,60 -	1,60	-----	-----	: : : : :	-----
-				: : : :	
1,80 -				: : : : :	
-				-----	
2,00 -				:°:°:°:°	
-				-----	
2,20 -	2,20	-----	-----	:°:°:°:°	
-				-----	
2,40 -	2,40	-----	-----	:°:°:°:°	
-				-----	
2,60 -				-----	
-				:	
2,80 -				-----	
-				:	
3,00 -				-----	
-				-----	
3,20 -	3,20	-----	-----	: : : : :	
-				: : :	
3,40 -	3,30			: : : : :	
-				: : : :	
3,60 -				: : : : :	
-				: : : :	
				: : : :	<i>Roca andesítica aglomerádica de color oscuro.</i>

3,80 -				∴ ∴ ∴ ---	
4,00 -				-----	
4,20 -				+++++	
4,40 -				+++++	
4,60 -					
4,80 -					
5,00 -					
5,20 -					