

## MICROZONIFICACION DE LA CIUDAD DEL CUSCO

Por: Juan Menéndez García \*

### RESUMEN

El presente trabajo se refiere a descripción de los estudios que permitirán una Microzonificación de los suelos subyacentes de la ciudad del Cusco, comprendiendo la formación geológica que evidencia las diferencias de suelos superficiales; las características de los estratos, que en algunos casos llegan a profundidades entre 30 y 50 m, como también las condiciones en que se encuentran y mostrar algunos parámetros de comportamiento mecánico.

Se advierte el estado y particularidades de los taludes naturales de los cerros que rodean a la ciudad y el riesgo en que se encuentran las viviendas ubicadas en esta zona, igualmente sobre la acción erosiva de los ríos que atraviezan por la ciudad.

Se muestra una posible correlación entre las características de los suelos y las intensidades sísmicas halladas a partir de la evaluación del comportamiento de las edificaciones en el sismo de 1986.

Finalmente se proponen una serie de estudios y acciones para la microzonificación y la necesidad de asumir la responsabilidad por parte de las instituciones y autoridades.

### MICROZONIFICACION DE LA CIUDAD DEL CUSCO

#### 1.-- Características Generales de los Suelos de la ciudad del Cusco

La ciudad del Cusco está ubicada en el inicio del Valle del río Huatanay con un ancho no mayor a los 3.00 km., rodeada por cerros, presentando dos zonas muy diferenciadas, el fondo del valle y las elevaciones que la circundan; en el origen del valle y parte de las elevaciones se encuentran ubicadas las construcciones de mayor importancia de la ciudad desde el incanato, la colonia, constituyendo actualmente el casco histórico-monumental.

La parte baja del valle y el resto de elevaciones conforman la zona de expansión de la ciudad diferenciándose en que las urbanizaciones se van ubicando en el valle, mientras que las partes elevadas (cerros) son ocupados por los asentamientos urbano—populares.

Los suelos del valle tienen diferentes orígenes desde depósitos lacustres, lago de Morkill, las terrazas aluviales formadas por los ríos, los depósitos coluviales a manera de conos de deyección hasta rellenos recientes, esta conformación define, en primera instancia una distribución que puede considerarse como una zonificación geológica.

Superficialmente y hasta donde se han ejecutado perforaciones se encuentran suelos cuyas

---

\* Ingeniero Civil, M. Sc., Profesor Principal de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

constantes físicas definen zonas diferenciadas.

Otra condición de los suelos de la ciudad del Cusco es la que presentan los rellenos de los cauces de los ríos Huatanay, Tullumayo, Chunchulmayo y Retiro que constituyen los actuales principales avenidas Sol, Tullumayo, Ejército y Retiro.

Rellenos recientes aún no consolidados y apoyados en los antiguos lechos de ríos, cuyas profundidades varían entre 1.50 y 4.00 m. y los anchos alcanzan hasta 50.00 m.

Se presentan estratigrafías típicas de zonas cuya ubicación topográfica corresponde a la siguiente distribución:

— **Zona Baja 1:**

Donde se ubican el Aeropuerto, urbanizaciones populares y el Parque Industrial.”

La estratigrafía que se muestra en el perfil correspondiente Gráfico 2, está caracterizada por constituir un depósito lacustre en el inferior y fluvial superficialmente constituyendo capas sucesivas de arcillas limosas y arenas y gravas apoyadas en un estrato de arcilla compacta a los 33.00 m. de profundidad.

El nivel freático se encuentra a partir de 0.50 m. El estrato superficial apto para recibir cimentación tiene las características siguientes:

- La relación de vacíos llega a valores de 0.78.
- Las humedades son mayores a las de saturación, 29 o/o.
- Las resistencias al corte varían entre de 0.25 a 0.45 kg/cm<sup>2</sup>.

Las cimentaciones de viviendas populares presentan permanente humedad.

— **Zona Alta 2:**

Ubicada al Sur Este de la ciudad, próxima a la anterior, pero con un desnivel del orden de los 30.00 m., a manera de una terraza, constituida por depósitos de capas alternadas de arena, arcilla arenosa, trípoli calcáreo de color blanco llamado ccontay. De esta zona se tiene dos perfiles uno de ellos de prospección geofísica (1) de 70.00 m. de profundidad y el otro de prospección mecánica (2) de 12.00 m. de profundidad, Gráfico 2.

Hasta los 12.00 m. no se detectó el nivel freático en el sector estudiado, habiéndose registrado resistencias al cortante entre 0.84 a 2.10 kg/cm<sup>2</sup>. en ensayos de veleta.

Las presiones admisibles alcanzan 3.00 kg/cm<sup>2</sup>. en suelos gravo—arcillosos compactos entre 2.50 m. hasta 5.00 m.

— **Zona Centro 3:**

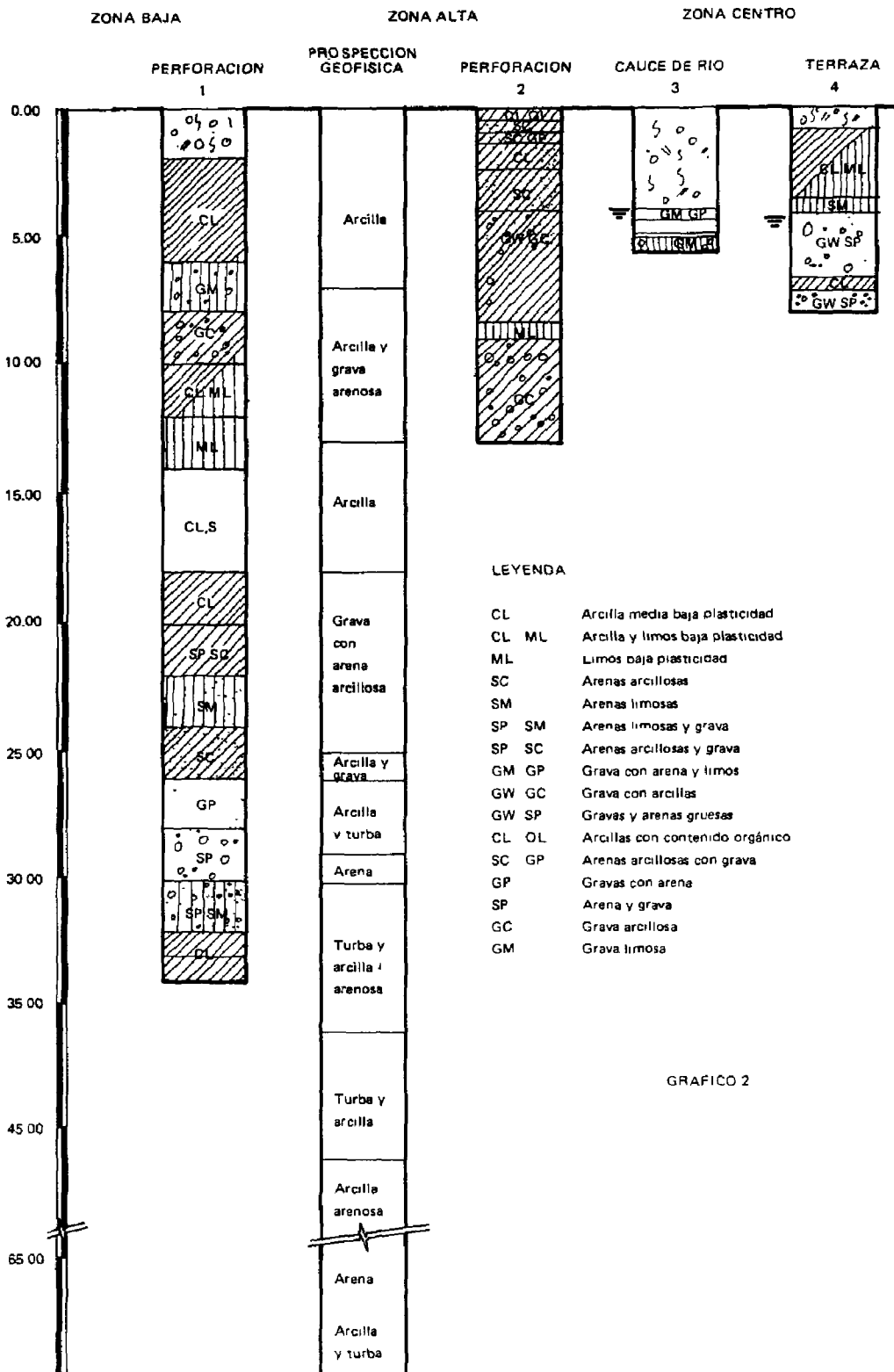
Esta zona se considera como aquella que está caracterizada por rellenos en las cuencas de ríos, es la de mayor requerimiento de uso del centro de la ciudad principalmente la Avenida Sol, zona comercial, edificios de gran volumen y peso.

Superficialmente se presentan rellenos no consolidados constituidos por desmontes y desperdicios de la ciudad, los que se apoyan en los lechos de los ríos que atraviezan la ciudad.

Los lechos están constituidos por gravas y arenas con contenido de limo, compactos. Estos suelos están ubicados de 4.00 m. a 5.00 m. por debajo del nivel actual de pista.

El nivel freático se encuentra a una profundidad de 3.50 m. y las presiones admisibles son

# PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE ZONAS CARACTERIZADAS



mayores a 1.00 kg/cm<sup>2</sup>. alcanzando hasta 1.60 kg/cm<sup>2</sup>.

Las áreas entre las cuencas formando plataformas elevadas están constituidas por material coluvial que vendrían a ser los conos deyección de las cuencas Saphi y Picchu, caracterizados porque superficialmente y hasta profundidad de 3.00 a 5.00 m. se encuentran arcillas compresibles, limos y arenas finas apoyados en gravas y arenas gruesas con presencia de bolonería empaçados en limos y compactos con densidades relativas hasta de 75 o/o. El nivel freático se detecta a partir de los 4.00 m. de profundidad.

Las presiones admisibles en los estratos de arcillas y limos varía entre 0.80 kg/cm<sup>2</sup>. hasta 1.50 kg/cm<sup>2</sup>, Gráfico 3.

## **2.— Aspectos Generales a tenerse en cuenta en los estudios de Microzonificación de la ciudad del Cusco:**

- a) Geología (3): La geología de la cuenca del Cusco está constituida por las formaciones siguientes:

- Depósitos Cuaternarios:
  - . Terraza fluvial 1
  - . Terraza fluvial 2
  - . Terraza fluvial 3
  - . Flujos de lodo
- Depósitos Lacustres (formación San Sebastián)
- Intrusivo de Sacsayhuamán
- Grupo Capas Rojas
- Formación Yuncaypata, Gráfico 1.

- b) Topografía: El hecho de que la ciudad del Cusco esté ubicada en el fondo del valle y parte de la expansión urbana ocupe los cerros circundantes, hace que los taludes naturales sean alterados y desestabilizados por la construcción de vías de acceso, variación del escurrimiento de las aguas de lluvia y la consecuencia infiltración en el macizo, por lo que se requiere de la identificación de zonas con riesgo de estabilidad; además se debe agregar el efecto erosivo de los ríos desde las partes altas de las cuencas, hasta las entradas a las canalizaciones, produciéndose deslizamientos con el inminente peligro de represamiento e inundación del casco histórico—monumental de la ciudad.

En los últimos años ya se han producido deslizamientos de taludes naturales tanto fuera de la ciudad como en urbanizaciones populares. En la evaluación de daños ocasionados por el sismo de 1986, el INC ha registrado inmuebles seriamente dañados por derrumbes en la zona norte de la ciudad en el sector correspondiente al talud debajo de las ruinas de Sacsayhuamán.

- c) Tipos de suelos (4): De acuerdo a la descripción de la estratigrafía de los suelos subyacentes de las zonas caracterizadas, existen sectores altos constituidos por suelos gruesos compactos, con niveles freáticos a partir de los 4.00 m., luego se tienen zonas con suelos finos, en la superficie, plásticos y no plásticos con el nivel freático casi superficial, suelos deformables y finalmente rellenos recientes sobre lechos de ríos que fueron canalizados.
- d) Correlación de características de los suelos con intensidades sísmicas (5): Correlacionando las características de los suelos subyacentes en las zonas establecidas y las intensidades obtenidas en el trabajo sobre estimación de intensidades sísmicas MM, realizado por el Ing. Malpartida (+ 5) se tiene los resultados siguientes:

- En la Zona Baja 1, y parte de la Zona Alta 2, conformada por suelos Limosos y Arcillosos con un rango de Módulos de Elasticidad de 62 a 187 kg/cm<sup>2</sup>, obtenidos

# PERFILES ESTRATIGRAFICOS ZONA CENTRO CUSCO

## CORTE AV. GRAU ARRAYAN LIMACAMPA AV. DE LA CULTURA

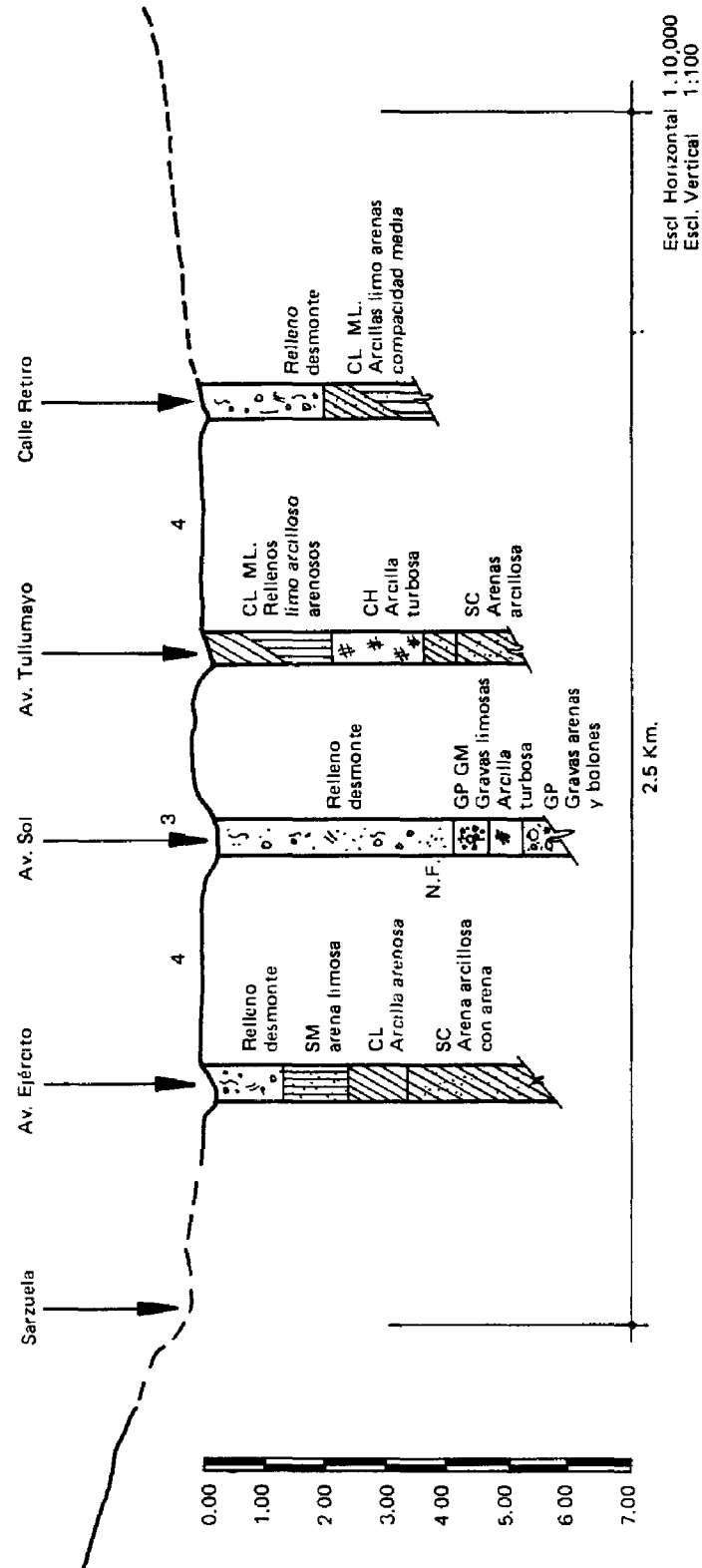


GRAFICO 3

## CUADRO DE CARACTERISTICAS

### SUELOS DE LA CIUDAD DEL CUSCO

| Zonas                         | Prof.<br>M.  | Tipos de<br>Suelos | Humedad<br>o/o | Nivel<br>Freático<br>M | Consistencia           | Densidad                | Resistencia<br>al Corte<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Módulo de<br>Elasticid.<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Presiones<br>Admisibles<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------------------------|--------------|--------------------|----------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| BAJA, 1                       | 1.20         | CL                 | 29             | 0.50-1.50              | Muy blanda a<br>blanda | -                       | 0.25                                          | 62-187                                        | 0.40-0.80                                     |
| ALTA, 2                       | 2.50<br>5.00 | GW-GC              | -              | -                      | -                      | Compacta                | 0.84                                          | 630-1260                                      | 3.00                                          |
| CENTRO:<br>CAUCE<br>DE RIO, 3 | 4.00         | GP-GM              | -              | 3.50                   | -                      | Compacto<br>Dr = 88 o/o | -                                             | -                                             | 1.00-1.60                                     |
| TERRA-<br>ZAS, 4              | 2.00         | ML                 | -              | 5.00                   | Blanda                 | -                       | 0.37                                          | 92-277                                        | 0.60-0.85                                     |

GRAFICO 4.

a partir de la Resistencia al Corte (7), corresponden grados de intensidad de VII MM.

- En el resto de la Zona Alta 2, los rangos del Módulo de Elasticidad alcanzan valores de 630 a 1,260 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiendo a suelos Gravo—Arcillosos compactos, cuyas intensidades alcanzan a VI MM.
- En la Zona Centro distribuida en terrazas, 4, se tiene rangos del Módulo de Elasticidad de 92 a 277 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiendo a suelos Limosos con intensidad VI MM.

Finalmente la evaluación del comportamiento de los suelos subyacentes de la ciudad del Cusco, ante cargas estáticas, dinámicas y accidentes naturales, con fines de una microzonificación funcional, deberá ser realizada con los trabajos y estudios siguientes:

- Recopilación y sistematización de la información existente.
- Estudios Geológicos, Geotectónicos y Geodinámicos.
- Estudios de Sismología Regional y Local.
- Estudios Geotécnicos y de Mecánica de Suelos.
- Estudio de las Cuencas Hidrográficas.
- Estudio de la Estabilidad de taludes naturales para la sectorización por coeficientes de seguridad.
- Estudio de Respuestas del Terreno con Instrumentación Sísmica.

Todas las actividades propuestas deberán ser realizadas y financiadas por instituciones como la Municipalidad, Instituto Geofísico del Perú, Instituto Nacional de Cultura y entidades nacionales e internacionales relacionadas con la preservación del patrimonio histórico—monumental, en coordinación con la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

## REFERENCIAS

- (1) Arce H., José E., Geofísica—Exploraciones del Hospital Regional IPSS, Cusco.
- (2) Carrillo, Arnaldo, Estudio de Suelos para Cimentación, Comportamiento Dinámico del Suelo, Hospital IPSS, Cusco.
- (3) Córdova, E., Estudio Geológico Ciudad Cusco, 1987.
- (4) Menéndez, Juan, Características de los Suelos del Cusco, VI Congreso Nacional de Mecánica de Suelos, Lima, 1987.
- (5) Carrillo, Arnaldo, Cimentación y Estabilidad Dinámica de los Suelos del Perú, Seminario de Actualización de Conocimientos, CIP., 1986.
- (6) Malpartida, Carlos, Evaluación de Intensidades Sísmica—Sismo del 5 de abril de 1986—Cusco, 1987.
- (7) Bowles, J., Propiedades Geofísicas de los Sismos, Mc. Graw Hill, Bogotá, 1982.

## BIBLIOGRAFIA

- CABRERA, J. (1984). Etudes sur la Neotectonique de la region de Cusco: Zone andine et zone sub—andine, Sud Perou Rapport DEA, Tectonophysique, Université Paris XI—Orsay, 55.
- CABRERA, J., SEBRIER, M., and MERCIER, J.L. (1986). Active normal faulting in High Pla-

- teaus of Central Andes: The Cuzco Region (Peru). Submitted to *Annales Tectonica*, Italy.
- DEZA, E., and CARBONEL, C. (1979). Regionalización sismotectónica preliminar del Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú*. 161, p. 215—217.
- DEZA, E. (1985). Identificación de una posible estructura en bloques en el Sur del Perú. (En prensa).
- ERICKSEN, G.E., CONCHA, J.F., and SILGADO, E. (1954). The Cuzco, Peru, earthquake of may, 21, 1950. *Bulletin Seismological Society America* 44 (2A), 97—112.
- I.G.P. Instituto Geofísico del Perú (1986). El sismo del Cuzco del 5 de abril de 1986: a) E. DEZA, M. VASQUEZ y S. RODRIGUEZ; b) A. FLORES y P. ALVARADO; c) P. HUACO y M. MINAYA; d) D. HUAMAN RODRIGO. Informe I.G.P. p. 68.
- SILGADO, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513—1974). *Boletín del Instituto de Geología y Minería*. p. 130.