



## Caracterización geotécnica de la ignimbrita Pachía mediante técnicas tradicionales y geofísicas de refracción sísmica y microtremores (MASW), distrito de Pocollay-Tacna”

Gloria Marina Choque Machaca

Universidad nacional Jorge Basadre G, Av. Miraflores s/n Tacna,

### RESUMEN

El área de estudio se localiza en el cono norte de la ciudad dentro de la Asociación de artesanos y pequeños industriales de Tacna (AAPITAC) al NO del Distrito de Pocollay. El terreno está constituido por ignimbritas de la formación Pachía representado por ceniza volcánica con una clasificación S.U.C.S de SM (arena limosa), sin plasticidad y de poca humedad.

El trabajo tiene por objetivo la caracterización geotécnica de la Ignimbrita Pachía mediante técnicas tradicionales y geofísicas, para lograr este objetivo se llevaron a cabo trabajos geofísicos de Refracción Sísmica y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). Se realizaron ensayos estándares y especiales de Mecánica de Suelos como Corte Directo, Triaxial y Consolidación Unidimensional de suelos. Empleando el software SeisImager se calculó la velocidad de ondas de compresión ( $V_p$ ) y de corte ( $V_s$ ). Las  $V_p$  están en un rango de 455,56 a 833,67 m/s y las  $V_s$  entre 290,05 a 461,34 m/s. Con los resultados obtenidos se determinaron los parámetros dinámicos del suelo como módulo de elasticidad (E), corte (G), volumen (K) y coeficiente de Poisson ( $\mu$ ). Se hallaron el asentamiento y capacidad de carga admisible ( $Q_{adm}$ ) del suelo. Se calculó la  $Q_{adm}$  por ambos métodos, de los resultados se aprecia que los valores hallados por el método geofísico son más conservadores que los hallados por el método tradicional empleando la teoría de Terzaghi.

**Palabras clave:** Caracterización geotécnica, Refracción sísmica, MASW, ignimbrita Pachía.

**Keywords:** Geotechnical characterization, Seismic Refraction, MASW, Pachía ignimbrite.

### ABSTRACT

Study area is located in the north zone of city of Tacna within the Association of artisans and small industrialists of Tacna to NW of Pocollay District. Land consists of Pachía ignimbrite formation represented by volcanic ash with classification S.U.C.S SM (silty sand) without plasticity and low humidity.

The work is mainly aimed geotechnical characterization of Pachía Ignimbrite through traditional and geophysical techniques to achieve this goal were carried out geophysical work Seismic Refraction and Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). In addition, standard and special tests of Soil Mechanics as Direct Shear, Triaxial and consolidation test were made. Using SeisImager software the compression wave velocity ( $V_p$ ) and shear wave velocity ( $V_s$ ) were calculated.  $V_p$  are in a range of 455.56 m/s to 833.67 m/s and  $V_s$  between 290.05 to 461.34 m/s. With the results, the surface soil dynamic parameters as elastic modulus, Poisson's ratio, shear modulus and bulk modulus were determined. Similarly were determined settlements soil and allowable load capacity. Allowable load capacities were calculated by geophysical and traditional method in 3 pits for static and pseudo static conditions, of the values obtained can be seen that values found by geophysical method are lower than those found by traditional method using Terzaghi theory.

## 1.-INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra asentada en depósitos de ceniza volcánica pertenecientes a la formación Ignimbrita Pachía, clasificados como arena limosa. Este tipo de suelo aflora en los distritos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay y Pachía. El último evento sísmico de gran magnitud que afectó a la ciudad de Tacna, fue el sismo del 23 de junio del año 2001 que ocasionó mayores daños en las construcciones de los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, que son los lugares donde existe mayor densidad poblacional. Debido a la creciente necesidad constructiva de la ciudad, en los últimos años la zona de estudio ha venido siendo poblada y las construcciones ya han empezado, sin embargo estas construcciones son autoconstruidas y se realizan sin tener en cuenta las características geotécnicas del suelo. La caracterización geotécnica mediante métodos geofísicos se realizó con la combinación de ambos métodos geofísicos, con los valores hallados se determinaron los parámetros dinámicos del suelo que tienen aplicaciones tanto para análisis geotécnicos tanto dinámicos como estáticos, como es el diseño de cimentaciones. La caracterización geotécnica mediante técnicas tradicionales se llevó a cabo ejecutando ensayos estándares y especiales de Mecánica de Suelos.

## 2.-GEOLOGÍA LOCAL

*Conglomerado Calientes:* Sucesión de conglomerados polimicticos, de cantos y guijarros subredondeados con baja esfereicidad y mal sorteo de clastos, con espesores de 100 m en la localidad de Calientes. Los conglomerados Calientes conforman parte importante del relleno del valle de Tacna, por lo que sus depósitos registran la dinámica fluvial de los ríos de la región.

*Ignimbrita Pachía:* Son grandes depósitos de cenizas volcánicas que ocupan parte de los distritos de Ciudad Nueva, Pocollay, Pachía y Calana. Tienen una tonalidad rosada y contienen abundante pómez y fragmentos angulosos de

rocas volcánicas andesíticas. (Flores et al, 2000)

## 3.-MÉTODOS SÍSMICOS

### 3.1.-Refracción sísmica

Consiste en colocar varios sensores (geófonos) a lo largo de una línea en el terreno, y en varios puntos generar vibración por golpes mediante un martillo. Mide la  $V_p$ .

### 3.2.-Método de análisis multicanal de ondas superficiales - MASW

Utiliza el mismo tendido y equipo para registro al de la prueba de Refracción Sísmica, pero se analizan las ondas con una técnica que permite separar las ondas Rayleigh de otras ondas elásticas y se determina la variación de  $V_s$  a profundidad con el que se obtienen el perfil de velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) para el punto central de dicha línea sísmica. (Lazcano, 2007)

## 4.- PARÁMETROS DINÁMICOS DEL SUELO

Relacionando la  $V_s$ ,  $V_p$  y densidad de los materiales se pueden obtener los siguientes parámetros:

$$\text{Coeficiente de Poisson } \mu = \frac{(v_p/v_s)^2 - 2}{2(v_p/v_s)^2 - 2}$$

$$\text{Módulo de Elástico o Young } E = 2G(1 + \mu)$$

## 5.-CAPACIDAD DE CARGA ( $Q_{adm}$ )

Para cimientos someros puede ser descrita en función de  $V_s$ :

$$Q_{adm} = 0.1 \rho V_s / n$$

## 6.-RESULTADOS

### 6.1.- Resultados de los ensayos de Mecánica de Suelos

De la Tabla 1 se puede apreciar que el suelo del área de estudio se clasifica como una arena limosa (SM), con baja humedad y sin plasticidad. Se observan valores bajos de densidades in situ, esto es debido a una relación de vacíos alta y a la presencia de pómez en el suelo.

Calicata	Prof. (m)	Densidad situ gr/cm3	%W	$\rho$ seca gr/cm3	LP	LL	P.E gr/cm3	Clasif. SUCS	Ángulo fricción	Cohesión Kg/cm2
C-1	1,60	1,023	0,98	1,013	NP	32,03	1,027	SM	23,62	0,114
C-2	1,80	1,304	2,17	1,276	NP	30,31	1,214	SM	24,70	0,40
C-3	1,45	1,403	5,05	1,336	NP	32,04	1,523	SM	22,60	0,288

Tabla 1: Resumen de los resultados de ensayos de Mecánica de Suelos siguiendo la Norma Técnica Peruana.

## 6.2.-Parámetros dinámicos del suelo

Se calcularon a 2 m de profundidad, obtenidos mediante los métodos geofísicos.

Tabla 2: Resumen parámetros dinámicos del suelo a una profundidad de dos metros obtenidos mediante los métodos geofísicos

Línea	Este (m)	Norte (m)	Vp(m/s)	Vs (m/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	G (MPa)	E (MPa)	K (MPa)
Línea1	370290,82	8011363,46	664,46	454,00	1,05	0,06	216,42	459,76	175,02
Línea 2	370381,70	8011340	617,90	368,92	1,05	0,22	142,91	349,56	210,35
Línea3	370492,27	8011261,91	608,97	359,37	1,05	0,23	135,60	334,35	208,58
Línea4	370219,36	8011255,35	725,21	461,34	1,15	0,16	244,76	567,90	278,47
Línea5	370305,29	8011196,51	650,65	371,59	1,25	0,26	172,60	434,25	299,05
Línea8	370298,10	8011120,31	587,15	441,12	1,25	0,15	243,23	414,50	106,62
Línea 9	370353,31	8010988,17	663,87	382,94	1,35	0,25	197,97	495,19	331,02
Línea10	370104,75	8011103,04	613,38	397,63	1,35	0,14	213,45	485,62	223,32
Línea11	370220,90	8011020,49	647,60	435,07	1,35	0,09	255,54	556,40	225,46
Línea12	370302,40	8010882,12	666,86	461,09	1,40	0,04	297,65	620,29	225,72
Línea13	370017,17	8011087,43	576,63	309,98	1,35	0,30	129,72	336,43	275,92
Línea14	370065,86	8010973,93	568,00	397,00	1,35	0,02	212,77	435,09	151,85
Línea15	370202,59	8010945,35	479,99	331,49	1,40	0,04	153,84	321,24	117,43
Línea16	370255,82	8010811,45	544,10	351,02	1,40	0,14	172,50	394,52	184,46
Línea17	369969,38	8010947,71	455,56	290,05	1,40	0,16	117,78	273,05	133,51
Línea18	370068,30	8010874,68	549,76	402,13	1,40	0,08	226,39	418,66	121,27
Línea19	370109,53	8010837,77	631,00	421,95	1,40	0,10	249,26	546,16	225,08
Línea20	370198,45	8010733,47	833,67	433,77	1,40	0,31	263,42	692,47	621,78
Línea23	370286,45	8011104,86	502,50	345,66	1,35	0,05	161,30	339,02	125,82
Línea24	370343,89	8011367,97	565,95	330,42	1,05	0,24	114,64	284,63	183,47

Tabla 3: muestra el resumen de los parámetros dinámicos del suelo evaluado en las calicatas 1,2 y 3.

Calicata	Prof. (m)	Este (m)	Norte (m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	$\rho$ .(g/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	G (MPa)	E(M-Pa)	K(M-Pa)
C-1	1,60	370351	8011361	565,93	330,42	1,02	0,24	111,69	277,30	178,73
C-2	1,80	370284	8011104	501,70	345,66	1,30	0,05	155,80	326,62	120,48
C-3	1,45	370063	8010958	461,88	294,02	1,40	0,16	121,29	281,23	137,59

## 6.3.-Capacidad de carga: Método geofísico y método tradicional de la Teoría de Terzaghi

Calicata	Prof. (m)	Este (m)	Norte (m)	Vs (m/s)	$\rho$ KN/m <sup>3</sup>	G (MPa)	Qu Tezcan KN/m <sup>2</sup>	Qu Tezcan (Tn/m <sup>2</sup> )	Qadm Tn/m <sup>2</sup>	Qadm kg/cm <sup>2</sup>
C-1	1,60	370351	8011361	330,42	10,03	111,69	331,50	33,83	11,28	1,13
C-2	1,80	370284	8011104	345,66	12,79	155,80	442,04	45,11	15,04	1,50
C-3	1,45	370063	8010958	294,02	13,76	121,29	404,55	41,28	13,76	1,38

Tabla 4: Resultados de  $Q_u$  y  $Q_{adm}$  obtenidos por el método geofísico.

Para el cálculo de  $Q_{adm}$  en condiciones estáticas \* y pseudoestáticas\*\*, se simuló una zapata cuadrada de las siguientes características: B=1m, L=1m y Df=1,60 m 1,80 m. y 1,45 m.

Tabla 5: Valores  $Q_{adm}$  hallada por la teoría de Terzaghi en condiciones estáticas\* y pseudoestáticas\*

Calicata	Prof. (m)	$\rho$ KN/m <sup>3</sup>	Cohesión Kn/m <sup>2</sup>	$\Phi$ (°)	$Q_{adm}$ * Kg/cm <sup>2</sup>	$Q_{adm}$ ** Kg/cm <sup>2</sup>
C-1	1,60	10,03	11,40	23,62	0,77	0,69
C-2	1,80	12,79	27,00	24,78	2,10	1,90
C-3	1,45	13,76	28,80	22,60	1,47	1,33

**6.4.- Cálculo del asentamiento según la teoría elástica en suelos granulares y por consolidación**

Se determinó el asentamiento a 2 m de profundidad, para una zapata cuadrada de 1 m de lado (Tabla 6) .Se realizó el ensayo de Consolidación unidimensional de suelo de la calicata C-2 (Tabla 7).

Tabla 6 y 7: Asentamientos inmediatos en las 3 calicatas (izq.) y por consolidación para la calicata C-2 (der.)

Calicata	B (cm)	$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$I_s$	E(Kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu^2$	$S_1$ (cm)
C-1	100	3,38	1	602,93	0,058	0,53
C-2	100	4,51	1	841,08	0,002	0,53
C-3	100	4,13	1	654,75	0,025	0,61

H (cm)	$\Delta e$	$e_0$	$\Delta H$ (cm)
1,59	1,127	0,676	1,06

**7.5.- Interpretación de los datos de Refracción Sísmica y MASW**

En el perfil sísmico de la Línea 21 se observa un incremento de  $V_p$  a 20m de profundidad lo que se interpreta como la roca basal denominada

“Conglomerado Calientes”. (Figura 1). El valor las  $V_s$  son calculadas en un solo perfil de velocidades por cada arreglo de 33 m y con una profundidad de investigación de 30m, este perfil es calculado para el punto medio del arreglo sísmico. (Figura 2)

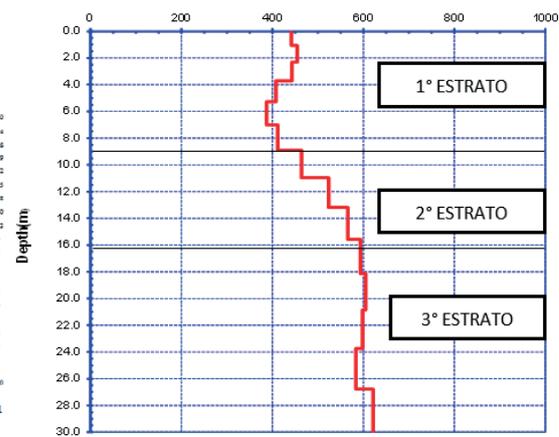
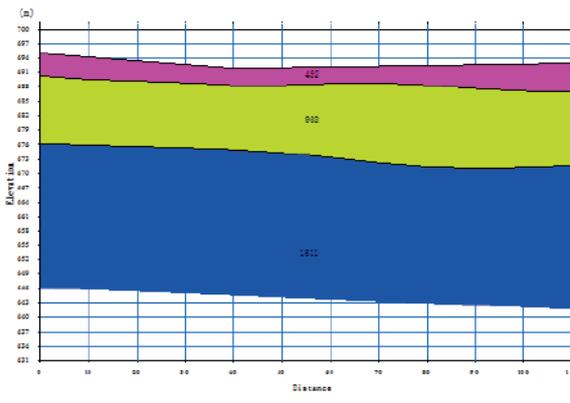


Figura 1 y 2: Perfil sísmico de la zona de estudio (izq.) y perfil de Vs (der.)

## 7.-CONCLUSIONES

Se caracterizó geotécnicamente a la Ignimbrita Pachia mediante técnicas tradicionales de ensayos estándares y especiales de Mecánica de Suelos y de esta manera se estimaron las propiedades geotécnicas del suelo obteniéndose como resultado los valores indicados en la Tabla 1. Para la caracterización de la Ignimbrita Pachía mediante técnicas geofísicas se realizaron ensayos de Refracción Sísmica y MASW, obteniéndose  $V_p$  y  $V_s$  a dos metros de profundidad, las  $V_p$  fluctúan entre 455,56 m/s a 833,67 m/s, las  $V_s$  entre 290,05 a 461,34 m/s. Con los valores de las  $V_p$  y  $V_s$  se calcularon los parámetros dinámicos como módulos de elasticidad (E) que se encuentran dentro del rango de 273,05 a 692.47 MPa, módulos de corte (G) que varían de 114,64 a 297.65 MPa a una profundidad de 2m.

Se determinó la  $Q_{adm}$  por el método geofísico y tradicional en las calicatas C-1, C-2 y C-3 para condiciones estáticas y pseudoestáticas, de los valores obtenidos se puede apreciar que los valores hallados por el método geofísico son más conservadores que los hallados por el método tradicional empleando la teoría de Terzaghi. Se calcularon los valores del asentamiento por medio del método geofísico y del ensayo de asentamiento por Consolidación unidimensional de suelos, los valores hallados son 0,53 a 0,61 cm a través del primer método y de 1,06 cm a través del segundo método.

## 8.- CONTRIBUCIONES TÉCNICAS Y CIENTÍFICAS

Los resultados del trabajo confirmaron la secuencia estratigráfica de la zona de estudio. Los valores de  $V_{s30}$  varían de 290,69 a 518,87 m/s, por lo cual el suelo es de tipo C según la Internacional Building Code (IBC), lo cual tiene congruencia con el contexto geológico, debido a que a la Ignimbrita Pachía se le puede clasificar como una roca blanda en sus niveles más profundos

## 9.-REFERENCIAS

- Flores, A. et al. (2000). Un evento volcánico de edad plioceno superior en la región de Tacna: La Ignimbrita Pachía. Resumen extendido. Perú. XI Congreso de Geología.
- Gordian J. et al.(2013). "Allowable bearing capacity for shallow foundation in Eket local Government area, Akwa Ibom State, Southern Nigeria. International Journal of Geosciences.
- Lazcano, S. (2007). "Caracterización de Suelos Arenosos mediante Análisis de Ondas de Superficie". Trabajo de ingreso a la Academia de Ingeniería México. Universidad Panamericana. Guadalajara-México.
- Reglamento Nacional De Edificaciones. Norma Técnica de Edificaciones NTE E-050. Suelos y Cimentaciones 2006.