



CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LOS SUELOS EN LA CIUDAD DE TACNA

Autor 1: Alva Hurtado, Jorge Elías, email: jalvah@terra.com.pe.

Ingeniero Civil- UNI. PhD en Ingeniería Civil. Universidad de Massachusetts, Amherst – Massachusetts. Profesor Principal de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. Rector Interino de la UNI.

Autor 2: Ortiz Salas, Carmen Eleana; email: carmenos_2900@hotmail.com.

Ingeniera Civil - UNSAAC. Magister en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia. Especialización en Ingeniería Sismo Resistente UNI. Investigadora - Posgrado FIC UNI. Docente de la Universidad Privada de Tacna.

Autor 3: Huanacuni Quispe, Diana Lizeth; email: diana.huanacuni1@gmail.com

Ingeniero Civil Egresado de la Escuela de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna.

Categoría: Geotecnia y Gestión de Riesgos

Palabras clave: Parámetros Dinámicos, Ensayos Geofísicos, Acelerograma, Espectros de Fourier, Espectro de Seudoaceleraciones.

Sinopsis:

La investigación se ha desarrollado en la Ciudad de Tacna, la que está localizada dentro del área que comprende el anillo de fuego del Pacífico, zona de alta actividad sísmica y donde ocurren aproximadamente el 90% de los sismos a nivel mundial. El último evento sísmico de gran magnitud que afectó a la ciudad de Tacna fue el sismo del 23 de Junio del 2001, ocasionando mayores daños en los Distritos de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza, donde se presentan suelos de tipo areno limoso.

Para determinar la amplificación sísmica, así como analizar y simular la interacción suelo estructura de las edificaciones existente ante la presencia de un evento sísmico es necesario determinar las características dinámicas del suelo, por lo cual se ha realizado este trabajo, utilizado los registros de 04 estaciones acelerográficas del sismo 22 de Marzo del 2015, así como 25 sondeos geofísicos MASW, con los que se obtuvo velocidades de ondas V_{s30} que varían de 326 m/s a 564 m/s, Módulos de Elasticidad que se encuentran dentro del rango de 135 kg/cm² a 3200 kg/cm², módulos de corte que varían de 535 kg/cm² a 3200 kg/cm² y períodos del suelo que varían de 0.10 seg a 0.33seg, en los Distritos de Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Pocollay y Tacna.. Siendo los menores valores encontrados en el Distrito de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza y los máximos en el Distrito de Tacna. Los máximos valores de aceleraciones, espectros de seudoaceleración, períodos del suelo obtenidos corresponden al Distrito de Ciudad Nueva.

Abstract.

This research was developed in the city of Tacna, which is located within the zone of the Pacific Ring of Fire, a high seismic activity area, where approximately 90% of earthquakes occur around the world. The last greatest earthquake that affected the city of Tacna recurred in June 23rd, 2001, causing major damage to the Districts of Ciudad Nueva and Alto de la Alianza, where silty sand soil types are presented.

To determine the value of seismic amplification, analyze and simulate the soil-structure interaction of the existing buildings affected by a seismic event, it is necessary to determine the soil dynamic characteristics, becoming one of the main objectives of this investigation. Four accelerographic stations recorded different seismic events, including seismic events of March 22nd, 2015, as well as 25 geophysical surveys, also known as MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), this survey determines the velocity of shear waves, and the value of V_{s30} ratio is between 326 m/sec to 564 m/sec; elastic moduli is determined within the values of 135 kg/cm² to 3200 kg/cm², Shear modulus varies between 535 kg/cm² to 3200 kg/cm² and soil periods varies from 0.10 sec to 0.33seg, all these values were determined in the Districts of Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Pocollay and Tacna. The lowest values were detected in the Ciudad Nueva District and Alto de la Alianza, and the highest values were detected in the District of Tacna. Besides, the maximum values of acceleration, pseudoacceleration spectra, and soil periods corresponds to the Ciudad Nueva District.

1. INTRODUCCIÓN:

El estudio se ha desarrollado en la Ciudad de Tacna, considerando que en los últimos quinientos años han ocurrido terremotos que en más de una ocasión causaron la destrucción total de la ciudad, como el ocurrido en 1868 que presentó una Magnitud de 9.0 Mw e intensidades del orden de X en la escala Mercalli Modificada.

El último evento sísmico de gran magnitud que afectó a la ciudad de Tacna, fue el sismo del 23 de Junio del 2001, ocasionando mayores daños en los Distritos de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza, donde se presentan suelos de tipo areno limoso.

Por ello surge la necesidad del análisis de los reportes acelerográficos y la aplicación del método de exploración sísmica basada en las características dispersivas de las ondas Rayleigh del método activo MASW o Análisis de Arreglo Multicanal de Ondas Superficiales.

A partir de esta información se ha determinado las aceleraciones, velocidades y desplazamientos en el suelo, Espectros de Fourier, Espectros de Respuesta de Seudo aceleración, los perfiles de ondas corte (Vs) y parámetros elásticos de suelo que permitirán determinar la amplificación sísmica así como analizar y simular la interacción suelo estructura de las edificaciones existente ante la presencia de un evento sísmico.

2. OBJETIVOS:

Determinar las características dinámicas de los suelos en la Ciudad de Tacna, Distritos de Tacna, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva y Pocollay.

3. MARCO TEORICO

3.1 Tratamiento de Acelerogramas

Para determinar los valores de aceleraciones que se han producido durante el terremoto en el lugar de registro, es necesario hacer un cuidadoso tratamiento del reporte acelerográfico, puesto que los datos que se recogen en campo están en un formato original propio del acelerógrafo, por lo cual se debe considerar los siguientes pasos:

- Corrección por línea base.
- Filtrado de la señal.
- Obtención de las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento.
- Obtención de espectros de Fourier.
- Obtención de los espectros de respuesta.
- Obtención de otros parámetros significantes con la Intensidad de Arias, duración significativa, Intensidad de Housner entre otros.

3.2 Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

Los sondeos MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal son un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose

en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (Vs) para el punto central de dicha línea (Figura N° 01).

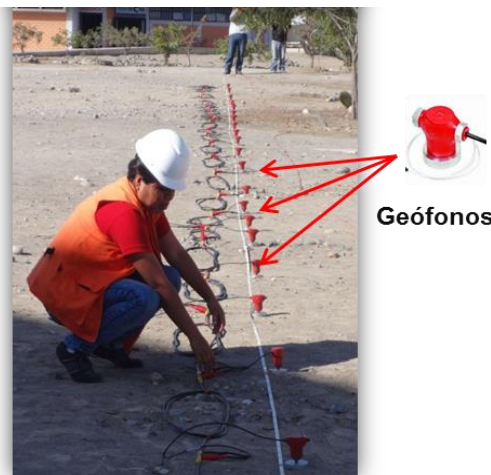


Fig. N°01: Vista del Sondaje MASW

3.3 Parámetros Elásticos

En la teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996), la velocidad de las ondas S se representan en forma de ecuación de movimiento, para un cuerpo elástico isotrópico de la siguiente manera.

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Donde:

Vp = Velocidad de ondas de compresión

Vs = Velocidad de ondas de corte

λ = Constante de Lamé

μ = Rigidez

ρ = Densidad

Relacionando las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas se pueden obtener los siguientes parámetros elásticos:

$$\text{Relación de Poisson } (\nu) = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$$

$$\text{Módulo de Young } (E_d) = 2(1 + \nu)G$$

$$\text{Módulo de Corte } (G_{\max}) = \rho V_s^2$$

4 REPORTE ACELEROGRÁFICO Y ENSAYOS REALIZADOS

Para el análisis de la información acelerográfica se ha utilizado los registros obtenidos del sismo 22 de Marzo del 2015 de 04 estaciones acelerográficas TAC 001 ubicada en la Universidad Jorge Basadre Grohmann, TAC 002, ubicada en la Universidad Privada de Tacna, TAC 003 ubicada en la Municipalidad de Ciudad Nueva y TAC-004 – ubicada en SENCICO correspondientes a los Distritos de Ciudad Nueva, Pocollay y Tacna.

La investigación geofísica consistió en la exploración de los suelos en los distritos de Tacna, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, los que incluyen las zonas donde se ubican las casetas acelerográficas. Se realizaron 25 sondajes de ensayos MASW, utilizándose 24 canales, con una profundidad de 30m y, separándose entre geófonos de 0.46 m a 1.5 m para líneas de 54.5 metros. La ubicación de las líneas sísmicas realizadas se presenta en la Fig. N° 02

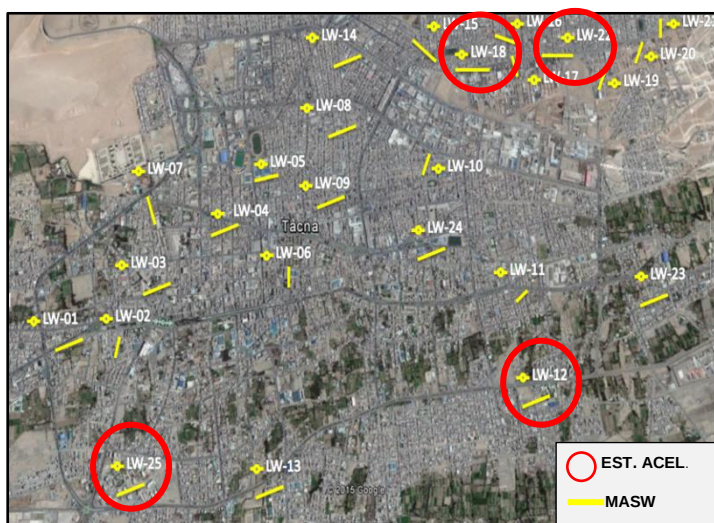


Fig. N°02: Ubicación de líneas sísmicas y Estaciones acelerográficas

5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

5.1 Reporte Acelerográfico del Sismo 22 de Marzo del 2015:

La ubicación del sismo del 22 de Marzo del 2015, tiene dos fuentes, el USGS (United States Geological Survey) y el IGP (Instituto Geofísico del Perú) que se comparan en la Tabla N°01.

Tabla N°01 Ubicación y hora epicentral del sismo según el IGP y USGS

Fuente	Coordenadas geográficas (°)		Profundidad (Km)	Hora epicentral UTC
	Latitud Sur	Longitud Oeste		
USGS	-18.384	-69.146	120.9 (+3.8)	04:51:37
IGP	-18.76	-69.75	125	04:51:37
Δ_{IGP}	$\Delta_{hor} = 76.24$ Km,		0.24%	-

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) ubica el epicentro a 89Km al Sur Este de Calana, en la Provincia de Tacna, Región de Tacna, con una intensidad máxima en la escala modificada de Mercalli de V Tacna, IV-V Moquegua, Ilo y III-IV Arequipa.

El USGS ubica el epicentro a 48 Km al Sur Este de Putre (Chile), a 122 Km al Este de Arica (Chile), a 123 Km al Sur Este de Tacna (Perú), a 182 Km al Sur Oeste de Patacamaya (Bolivia) y a 233 Km de La Paz (Bolivia).

El Cuadro N°01 resume las ubicaciones y características de las estaciones acelerométricas, la distancia desde la estación al epicentro del sismo (IGP/USGS) y el tipo de suelo correspondiente, los que se estimaron a partir del mapa de zonificación local (Ortiz, 2010).

Cuadro N°01 Ubicaciones de Estaciones Acelerográficas

N°	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas geográficas		Dist. Epic. con respecto a las coord. IGP en Km	Dist. Epic. con respecto a las coord. USGS en Km
					Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)		
1	CISMID	TAC001	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	Grava pobremente gradada	-18.025	-70.249	97.370	123.33
2		TAC002	Universidad Privada de Tacna, Distrito de Pocollay - Tacna.	Grava pobremente gradada	-18.005	-70.226	97.92	121.74
3		TAC003	Municipalidad de Ciudad Nueva, Distrito de Ciudad Nueva -Tacna	Arena Limosa	-17.983	-70.237	100.62	123.70
4	SENCICO	TAC004	SENCICO, Distrito de Ciudad Nueva, Tacna	Arena Limosa	-17.988	-70.238	100.20	123.60



Se ha determinado que las máximas aceleraciones del Sismo 22 de Marzo del 2015 fueron registradas en la Estación TAC 004 - SENCICO ubicada en el Distrito de Ciudad Nueva, (Figuras N°03 al N°05) siendo el valor más alto en la componente Vertical de 59.87 cm/seg². Las estaciones TAC 003-Mun. Ciudad Nueva, TAC 002-UPT y TAC 001-UNJBG; presentan aceleraciones máximas de 42.69 cm/seg², 42.67 cm/seg² y 31.46 cm/seg². En el Cuadro N°02 se presenta los valores máximos de aceleraciones registradas en cada componente de las estaciones acelerométricas.

Cuadro N°02 Valores máximos de aceleraciones registradas

Nro.	Estación	Aceleraciones Máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración Máxima cm/seg ²
		PGA EO	PGA NS	PGA V	
1	TAC001	31.46	30.48	25.70	31.46
2	TAC002	25.97	28.74	42.67	42.67
3	TAC003	42.69	41.39	41.35	42.69
4	TAC004	42.00	41.05	59.87	59.87

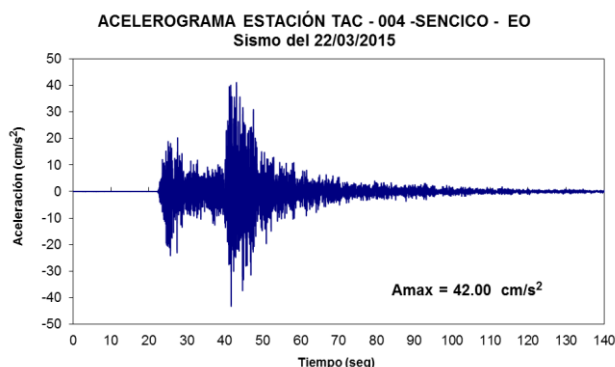


Fig. N°03

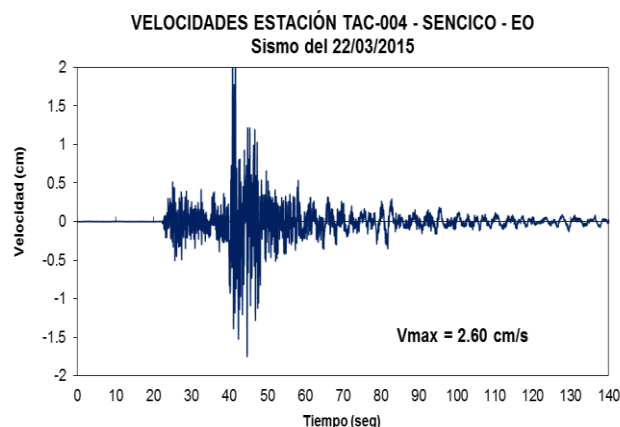


Fig. N°04

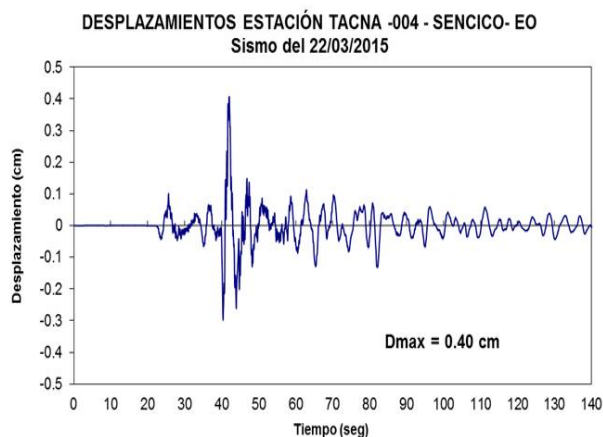


Fig. N°05

Los Espectros de Amplitudes de Fourier presentan contenidos de frecuencias en el intervalo de 0.10 Hertz a 20.0 Hertz. (Fig.N°06)

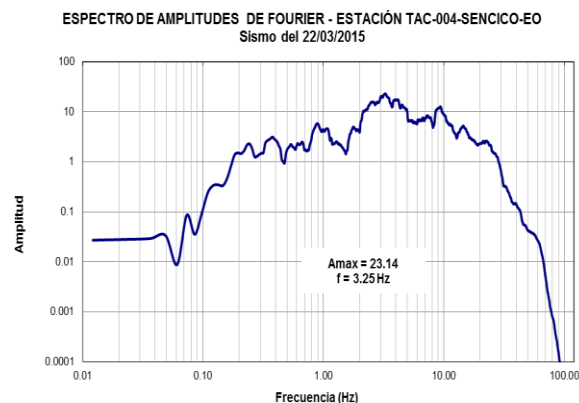


Fig. N°06

Para tener una representación gráfica de la respuesta elástica máxima del suelo para un amortiguamiento del 5% se han obtenido los espectros de pseudoaceleración, siendo el valor más alto el obtenido en la Estación TAC 004-SENCICO. Cuadro N°03 y Fig. N°07.

Cuadro N°03 Valores máximos de espectros de pseudoaceleración.

Nro.	Estación	Seudoaceleración Espectral (cm/seg ²) 5% de amortiguamiento (con filtrado)			Seudoaceleración espectral máxima (cm/seg ²)
		EO	NS	V	
1	TAC001	119.34	115.69	80.82	119.34
2	TAC002	92.17	103.42	123.89	123.89
3	TAC003	156.93	137.16	193.99	193.99
4	TAC004	162.01	164.55	252.05	252.05

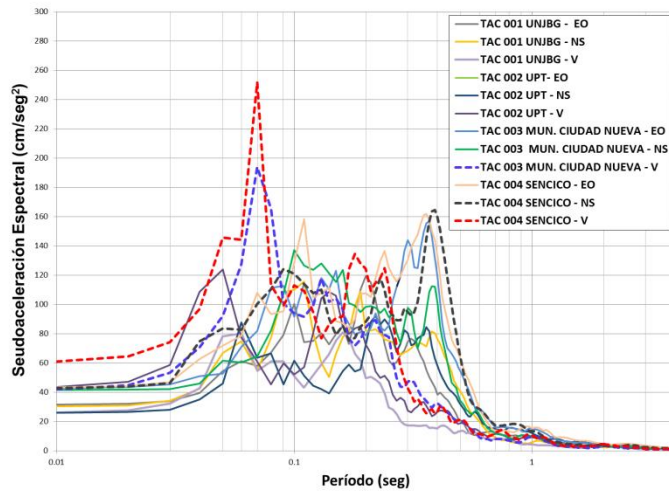


Fig. N°07: Espectro de Respuesta de pseudoaceleración

5.2 Sondaje MASW

En perfil de velocidad de corte unidimensional se ha determinado que la velocidad de corte mínima V_{s30} es de 326 m/s, y el valor máximo es 564 m/s, por lo que el tipo de material tiene una compacidad suelta a muy densa. Se presenta los perfiles sísmicos MASW 25, MASW 12, MASW 22 y MASW 18 correspondiente a las zonas en las que se encuentran ubicadas las estaciones acelerográficas (Figuras N°08 al N°11).

Estos resultados han sido analizados con respecto a los parámetros dinámicos obtenidos de los Ensayos MASW como se aprecia en Cuadro N° 04.

Fig. N° 08: Perfiles de Vs obtenidos en la estación TAC001 - Sondaje MASW-25 - UNJBG

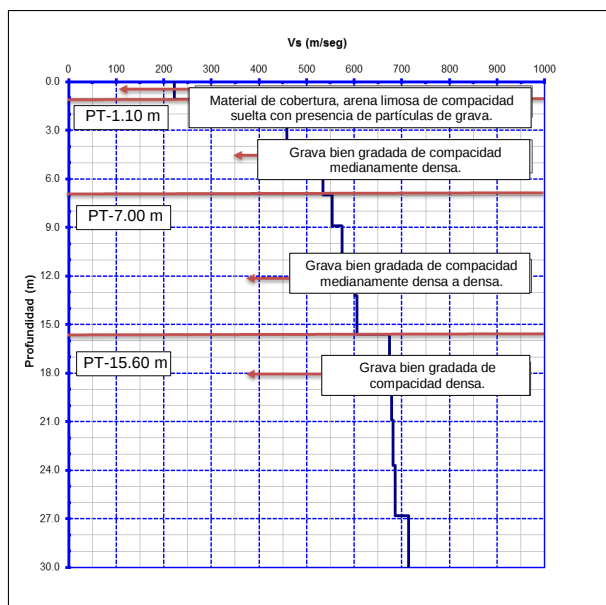


Fig. N° 09: Perfiles de Vs obtenidos en la estación TAC 002 Sondaje MASW 12 – Univ. Privada de Tacna

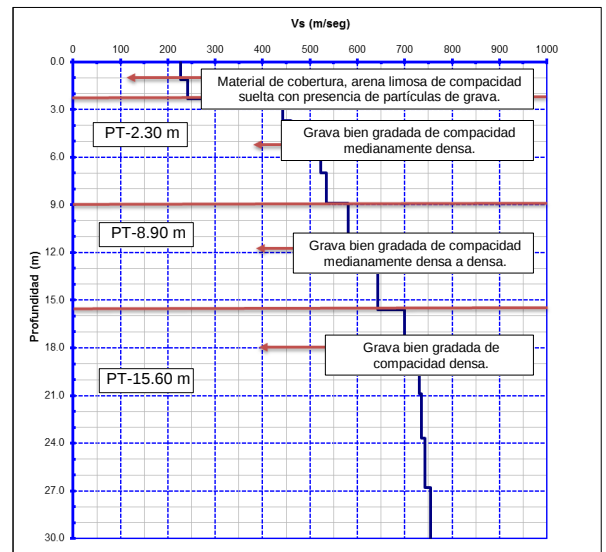


Fig. N° 10: Perfiles de Vs obtenidos en la estación TAC003 Sondaje MASW - 22 – Municipalidad de Ciudad Nueva

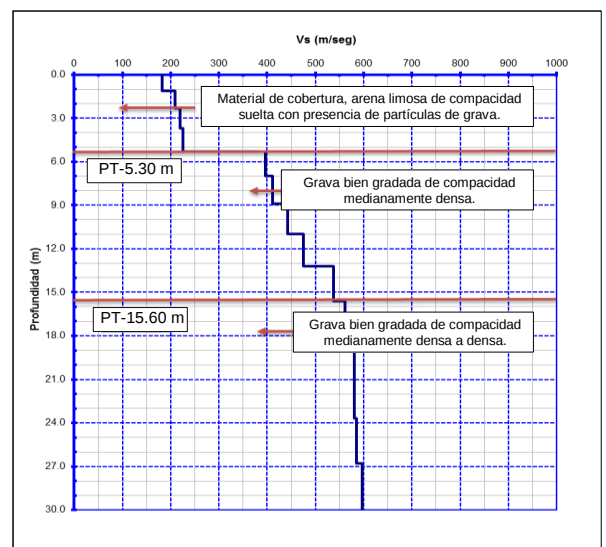
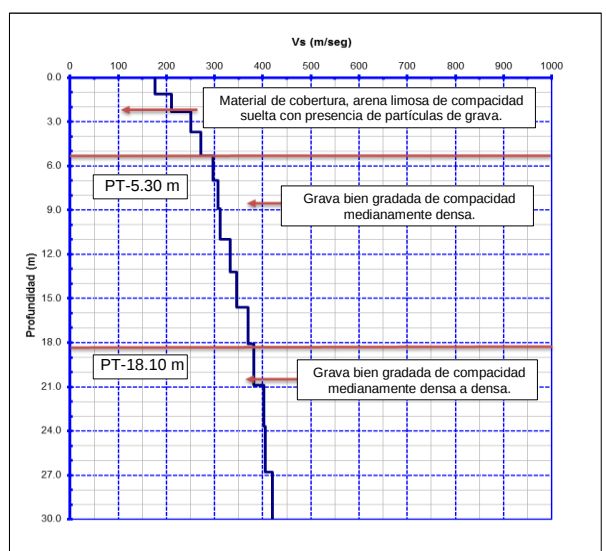


Fig. N° 11: Perfiles de Vs obtenidos en la estación TAC004 Sondaje LW-18 – SENCICO



Cuadro N° 04: Cuadro de Aceleraciones máximas y Velocidades Vs

Ubicación	SISMO DEL 22 de MARZO DEL 2015 ML=6.2 (IGP). Mw =6.4 (USGS)		Sondaje	Estrato	V _s	Espeor	Prof.	Período caract. seg	Descripción
	Aceleracion Maxima cm/seg	Seudoaceleracion espectral maxima (cm/seg ²)			(m/s)	(m)	(m)		
TAC001 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann TACNA	31.46	119.34	MASW 25	1	222.41	1.1	30	0.21	Material de cobertura, arena limosa de compacidad suelta con presencia de partículas de grava
				2	375.97	5.9			Grava bien gradada, de compacidad medianamente densa
				3	553.41	8.6			Grava bien gradada, de compacidad medianamente densa a densa
				4	673.56	14.4			Grava bien gradada de compacidad densa
TAC002 Universidad Privada de Tacna POCOLLAY	42.67	123.89	MASW 12	1	227.02	2.3	30	0.22	Arena limosa (ceniza volcanica) compacidad suelta a medio densa.
				2	441.63	6.6			Grava pobremente gradada, de compacidad medianamente densa
				3	580.62	6.7			Grava pobremente gradada, de compacidad medianamente densa a densa
				4	700.27	14.4			Grava pobremente gradada de compacidad densa
TAC003 Municipalidad de Ciudad Nueva CIUDAD NUEVA	42.69	193.99	MASW 22	1	181.76	5.3	30	0.29	Arena limosa de compacidad suelta
				2	396.45	10.3			Arena limosa de compacidad medianamente densa
				3	561.11	14.4			Arena limosa de compacidad medianamente densa a densa
TAC004 SENCICO CIUDAD NUEVA	59.87	252.05	MASW 18	1	175.59	5.3	30	0.30	Arena limosa de compacidad suelta
				2	296.65	12.8			Arena limosa de compacidad medianamente densa
				3	381.33	18.1			Arena limosa de compacidad medianamente densa a densa

De los resultados de reportes acelerográficos y parámetros dinámicos obtenidos con los Ensayos MASW, se tiene que en la Estación TAC003 y TAC004 ubicadas en el Distrito de Ciudad Nueva se han obtenido las máximas aceleraciones, espectros de seudoaceleración, y períodos del suelo. Los mínimos valores de Vs que varían de 250 m/s a 560m/s se han obtenido en los Distritos de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza, por lo que se considera que las mayores amplificaciones sísmicas en eventos de mayor magnitud, se presentarán en estos Distritos.

5.3 Estimación de Parámetros Elásticos

Para el presente estudio, los ensayos geofísicos proporcionaron la velocidad de ondas de corte (Vs) del perfil estratigráfico. Por su parte para estimar la densidad y el módulo de Poisson de los materiales, se asumieron valores característicos, lo cual posibilitó mediante el empleo de las formulaciones antes indicadas, obtener los parámetros dinámicos del área de estudio.

Se caracterizaron los sondajes MASW mediante el criterio del Vs30, de acuerdo al International Building Code 2012, para lo cual se pondera la distribución de velocidades de ondas de corte hasta 30 m de profundidad.

Los valores de velocidades de ondas de corte que considera el código se presentan en la Tabla N° 02.

Tabla N°02 Clasificación de Sitio Según la International Building Code 2012

SITE CLASS	Nombre característico	V _{s30} (m/s)
A	Roca muy dura	Vs30 > 1520
B	Roca dura	760<Vs30<1520
C	Suelo muy denso o roca blanda	360<Vs30<760
D	Suelo rígido	180<Vs30<360
E	Suelo blando	Vs30<180

Los resultados obtenidos de V_{s30} de los 25 sondajes MASW se presentan en los Cuadros N° 05 y 06 .



Cuadro N° 05: Velocidades V_{s30} y Clasificación de Sitio

Ubicación	Sondaje	V_{s30}	Clase de Sitio
		(m/s)	
Estación TAC001 UNJBG (Tacna)	MASW 25	564.00	C
Estación TAC002 UPT(Pocollay)	MASW 12	556.00	C
Estación TAC003 Mun. Ciudad Nueva (Ciudad Nueva)	MASW 22	412.00	C
Estación TAC004 SENCICO (Ciudad Nueva)	MASW 18	326.00	D

Cuadro N° 06

Ubicación	Sondaje	V_{s30}	Clase de Sitio
		(m/s)	
Tacna	MASW 01	470.00	C
Tacna	MASW 02	524.00	C
Tacna	MASW 03	448.00	C
Tacna	MASW 04	520.00	C
Tacna	MASW 05	540.00	C
Tacna	MASW 06	531.00	C
Tacna	MASW 07	484.00	C
Tacna	MASW 08	492.00	C
Tacna	MASW 09	524.00	C
Tacna	MASW 10	458.00	C
Pocollay	MASW 11	554.00	C
Tacna	MASW 13	541.00	C
Alto de la Alianza	MASW 14	427.00	C
Alto de la Alianza	MASW 15	396.00	C
Ciudad Nueva	MASW 16	363.00	C
Ciudad Nueva	MASW 17	341.00	D
Ciudad Nueva	MASW 19	346.00	D
Ciudad Nueva	MASW 20	359.00	D
Ciudad Nueva	MASW 21	433.00	C
Pocollay	MASW 23	448.00	C
Tacna	MASW 24	560.00	C

Asimismo se ha determinado los módulos de elasticidad los que varían de 135 Kg/cm^2 a 3200 Kg/m^2 . Los módulos de corte varían de 535 Kg/cm^2 a $12,200 \text{ kg/cm}^2$. Siendo los menores valores encontrados en el Distrito de Ciudad Nueva y los máximos en el Distrito de Tacna. Los períodos del suelo en la zona de estudio varían de 0.10 seg a 0.33seg. Los valores de los parámetros elásticos obtenidos en las casetas acelerográficas se presentan en los Cuadros N° 07 al N° 10.

Cuadro N° 07: Parámetros Elásticos obtenidos en el Sondaje LW-25

Profundidad h(m)		Velocidad de Onda S (m/seg) V_{si}	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) Es
Desde	Hasta			
0.00	1.10	222.41	858	215
1.10	2.30	375.97	2,596	675
2.30	3.70	459.14	3,872	1,007
3.70	5.30	507.66	4,734	1,231
5.30	7.00	535.14	5,260	1,368
7.00	8.90	553.41	5,938	1,544
8.90	11.00	575.02	6,411	1,667
11.00	13.20	601.59	7,017	1,824
13.20	15.60	605.88	7,117	1,850
15.60	18.10	673.56	9,722	2,528
18.10	20.90	678.53	9,866	2,565
20.90	23.70	682.01	9,967	2,591
23.70	26.80	686.72	10,105	2,627
26.80	30.00	713.79	10,918	2,839

Cuadro N° 08: Parámetros Elásticos obtenidos en el Sondaje LW-12

Profundidad h(m)		Velocidad de Onda S (m/seg) V_{si}	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) Es
Desde	Hasta			
0.00	1.10	227.02	894	224
1.10	2.30	241.41	1,011	253
2.30	3.70	441.63	3,582	931
3.70	5.30	459.51	3,878	1,008
5.30	7.00	522.50	5,014	1,304
7.00	8.90	534.53	5,248	1,364
8.90	11.00	580.62	6,536	1,699
11.00	13.20	592.07	6,796	1,767
13.20	15.60	643.40	8,026	2,087
15.60	18.10	700.27	10,508	2,732
18.10	20.90	731.40	11,463	2,980
20.90	23.70	735.77	11,601	3,016
23.70	26.80	742.34	11,809	3,070
26.80	30.00	753.89	12,179	3,167

Cuadro N° 09: Parámetros Elásticos obtenidos en el Sondaje LW-22

Profundidad h(m)		Velocidad de Onda S (m/seg) V_{si}	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) Es
Desde	Hasta			
0.00	1.10	181.76	573	143
1.10	2.30	208.88	757	189
2.30	3.70	218.70	830	207
3.70	5.30	225.91	885	221
5.30	7.00	396.45	2,887	751
7.00	8.90	411.61	3,112	809
8.90	11.00	441.94	3,587	933
11.00	13.20	475.29	4,149	1,079
13.20	15.60	536.92	5,295	1,377
15.60	18.10	561.11	6,104	1,587
18.10	20.90	579.93	6,520	1,695
20.90	23.70	580.69	6,537	1,700
23.70	26.80	585.00	6,635	1,725
26.80	30.00	596.25	6,893	1,792



Cuadro N° 10: Parámetros Elásticos obtenidos en la estación TAC004 - Sondaje LW-18

Profundidad h(m)		Velocidad de Onda S (m/seg) V _{si}	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) Es
Desde	Hasta			
0.00	1.10	175.59	535	134
1.10	2.30	209.98	765	191
2.30	3.70	250.24	1,086	272
3.70	5.30	271.29	1,277	319
5.30	7.00	296.65	1,616	420
7.00	8.90	307.79	1,740	452
8.90	11.00	312.18	1,790	465
11.00	13.20	332.66	2,033	528
13.20	15.60	345.85	2,197	571
15.60	18.10	369.16	2,503	651
18.10	20.90	381.33	2,819	733
20.90	23.70	402.34	3,139	816
23.70	26.80	405.05	3,181	827
26.80	30.00	419.77	3,416	888

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se determinaron las características dinámicas de los suelos en la Ciudad de Tacna con mediciones geofísicas MASW, obteniendo velocidades de ondas V_{s30} que varían de 326 m/s a 564 m/s, Módulos de Elasticidad que se encuentran dentro del rango de 135 kg/cm² a 3200 kg/cm² y módulos de corte que varían de 535 kg/cm² a 3200 kg/cm² y períodos del suelo que varían de 0.10 seg a 0.33seg. Siendo los menores valores encontrados en el Distrito de Ciudad Nueva y los máximos en el Distrito de Tacna.
- De los resultados obtenidos al procesar los reportes acelerográficos y los parámetros elásticos obtenidos de los Ensayos MASW se concluye que las mayores amplificaciones sísmicas se presentarán en el Distrito de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza.
- Se ha analizado los resultados del trabajo de investigación encontrando suelo de compacidad densa a profundidades mayores de 18.00m en el distrito de Tacna, suelo de compacidad medianamente densa a densa en el distrito de Ciudad Nueva a profundidades mayores de 18.00 m, en Alto de la Alianza a una profundidad de 21.00 m y en Pocollay a una profundidad de 16.00 m.
- Esta información permitirá analizar y simular la interacción suelo estructura de las edificaciones existente ante la presencia de un evento sísmico.

7. AGRADECIMIENTOS:

Se agradece a la Empresa Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L. por el patrocinio para este trabajo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Arce Helberg, J. "La Geofísica Aplicada a la Microzonificación – Métodos de Prospección Geofísica en Estudios de Ingeniería", CISMID-UNI. (1991).
- IBC "International building Code", USA. (2012).
- Kramer S. "Geotechnical Earthquake Engineering" Ed. Prentice Hall. New Jersey – USA. (1996).
- Alva Hurtado, J.; Ortiz C. (2015), "Reporte Acelerográfico del Sismo de Putre del 22 de Marzo del 2015", Sección de Posgrado FIC UNI.(2015)
- Alva Hurtado, J.; Meneses, J. y Guzmán, V. "Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna. (1984).
- Department of the Army Corps of Engineers Geophysical Exploration – Engineering and Design. USA. Office of the Chief of Engineers. (1979).
- Hayashi, K. y Suzuki, H. "CMP Cross-correlation Analysis of Multi-Channel Surface-Wave Data", Exploration Geophysics, V35, 07–13. (2004).
- Cortez Flores, Adel M. "Site Response Of The 2001 Southern Peru Earthquake", Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Civil - Washington State University. (2004).
- Ortiz Salas Carmen E. "Proyecto piloto de medida de distribución de las intensidades sísmicas en la ciudad de Tacna mediante la Instalación de Sismoscopios – Tacna 2010". Sección de Posgrado FIC UNI. (2010).