



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Evaluación Sísmica de la Vulnerabilidad Estructural de la Edificación Patrimonial 1 en la  
Academia de Guerra del Ejército - Fase ensayos de campo**

AUTORES:

Galarza Peñafiel Krizia Nicole  
Pillajo Pérez Johanna Gabriela

TUTORES:

Ing. Ana Gabriela Haro Báez, Ph.D.

Sangolquí, 06 de marzo 2023



# Vulnerabilidad Estructural

“Está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se llama daño sísmico estructural.”





Edificios y conjuntos arquitectónicos que por sus valores históricos, culturales y emblemáticos son significativos para la sociedad que les otorga el carácter de legado.

(Lleida, 2010)

# Objetivos

## Objetivo General

Evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica en el Edificio Patrimonial 1 ubicado en la Academia de Guerra del Ejército con el fin de desarrollar recomendaciones de acuerdo con las disposiciones normativas nacionales e internacionales para la elaboración de diferentes planes de acción encaminados a limitar los posibles daños estructurales, no estructurales y de contenido.

## Objetivos Específicos

- Realizar reconocimiento de campo como inspecciones visuales rápidas aplicadas a la metodología FEMA P-154 (adaptado por MIDUVI), FUNVISIS y GEM, para comprobar el estado estructural del edificio en estudio.
- Analizar los resultados experimentales obtenidos de los ensayos exploratorios y no destructivos (refracción sísmica, método de Nakamura, pachómetro y SPT) con el fin de conocer el suelo de cimentación y su estabilidad.
- Instrumentar la edificación por vibración ambiental por medio de los acelerómetros con el objetivo de determinar la frecuencia y modos fundamentales de vibración.



## Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano



Av Gral Enriquez 2050 y Bahía de Caráquez

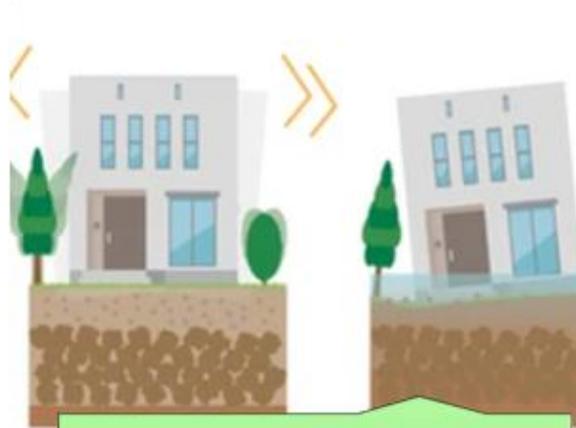
# Caracterización de la estructura

- Año de construcción, 1960
- Área de construcción, 1416,86 m<sup>2</sup>
- Uso de la edificación, Militar-Gobierno
- Material, mixta ladrillo y adobe
- Paredes, tierra amasada
- Cubierta, madera
- Cimentación corrida de piedra





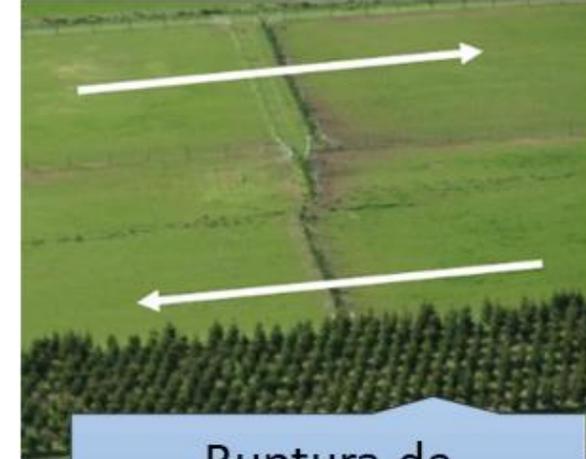
Suelo Tipo C



Licuefacción



Deslizamiento



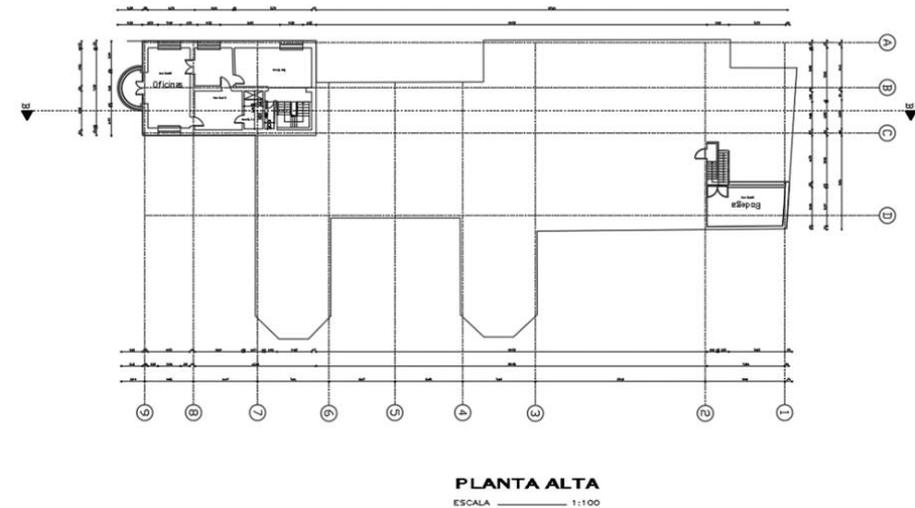
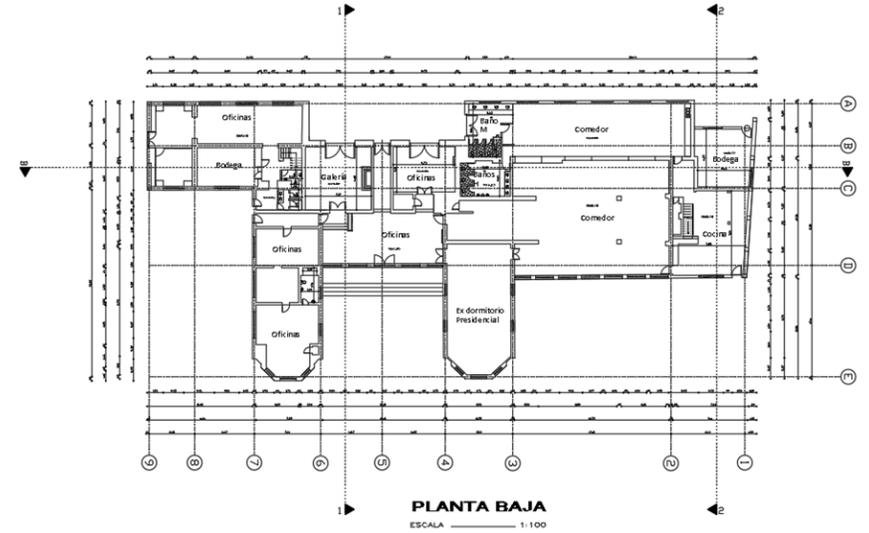
Ruptura de superficie

# Amenazas exteriores e interiores

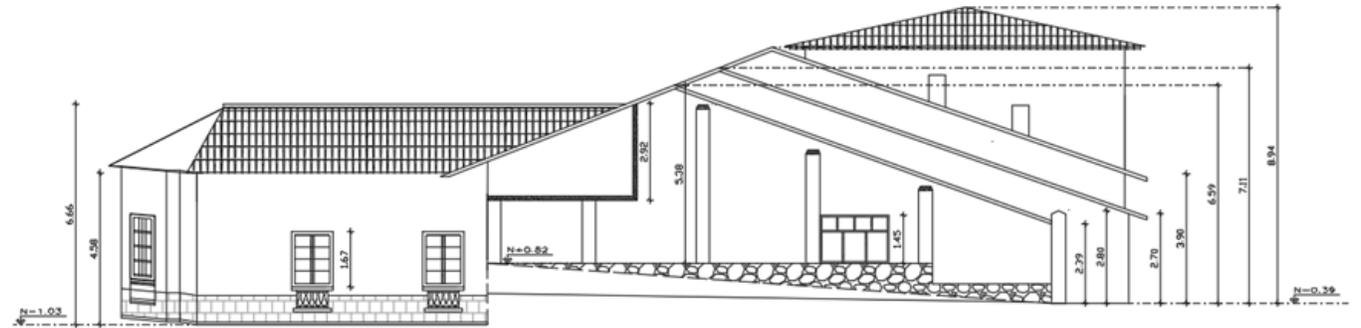
- Parapetos de mampostería no reforzada
- Chimeneas sin arriostramiento
- Múltiples fisuras



# Irregularidad en planta y elevación



# Irregularidad en planta y elevación



FACHADA FRONTAL

ESCALA 1:100



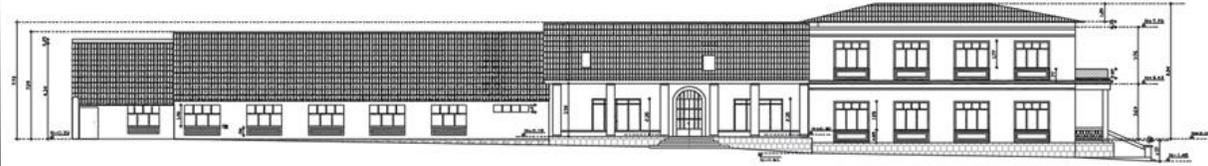
FACHADA POSTERIOR

ESCALA 1:100

# Irregularidad en planta y elevación



FACHADA LATERAL IZQUIERDA  
ESCALA 1:1000



FACHADA LATERAL DERECHA  
ESCALA 1:1000



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



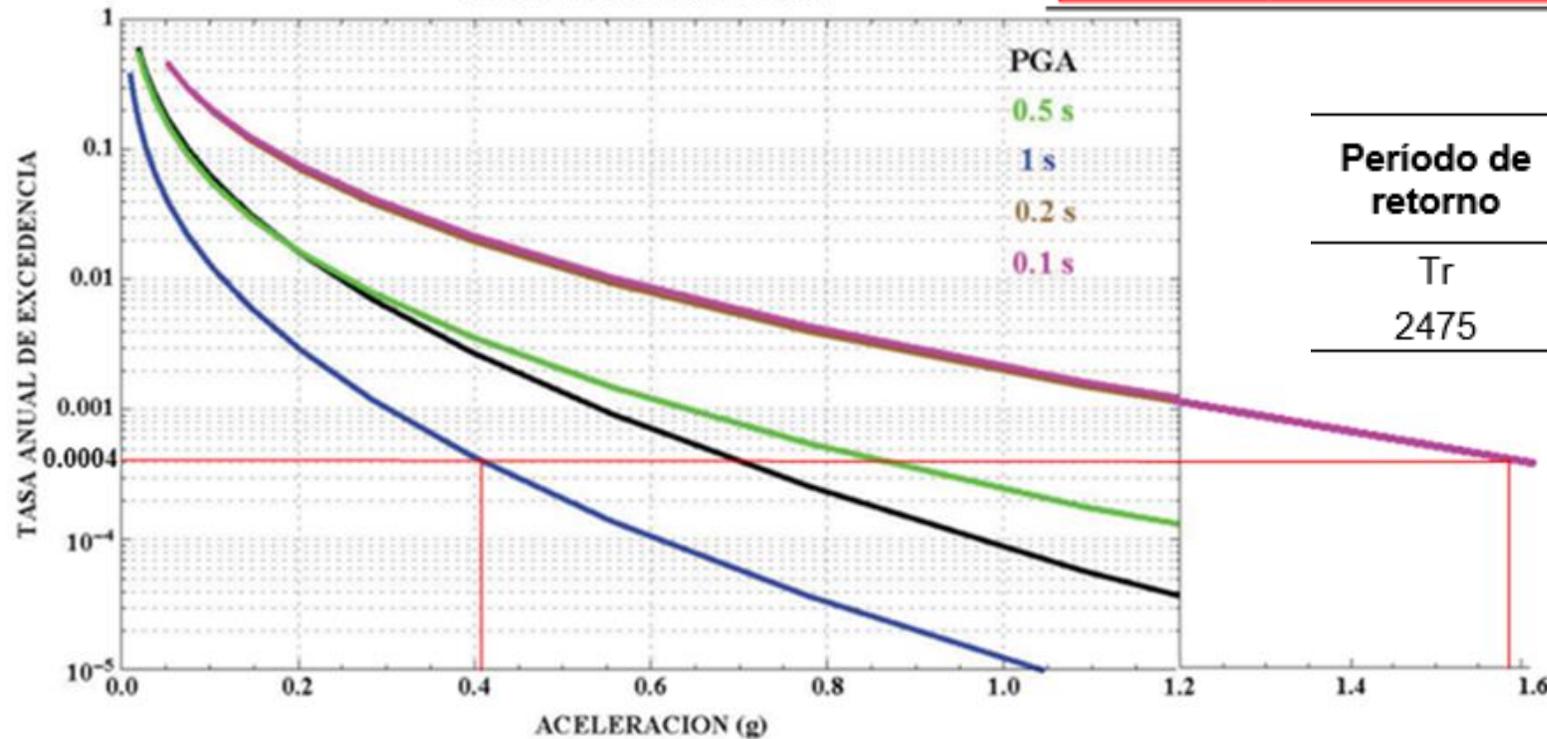
# Metodología FEMA P-154

- Evaluación visual rápida, catalogada como cualitativa.

Referencia Nivel de sismicidad FEMA P-154

Sismicidad de la región	Respuesta espectral de aceleración, $S_s$ , para período corto	Respuesta espectral de aceleración, $S_1$ , para período largo
Baja	$S_s < 0,25 * g$	$S_1 < 0,10 * g$
Moderada	$0,25 * g \leq S_s < 0,50 * g$	$0,10 * g \leq S_1 < 0,20 * g$
Moderadamente Alta	$0,50 * g \leq S_s < 1,00 * g$	$0,20 * g \leq S_1 < 0,40 * g$
<b>Alta</b>	<b><math>1,00 * g \leq S_s &lt; 1,50 * g</math></b>	<b><math>0,40 * g \leq S_1 &lt; 0,60 * g</math></b>
<b>Muy Alta</b>	<b><math>S_s \geq 1,50 * g</math></b>	<b><math>S_1 \geq 0,60 * g</math></b>

Curvas de Peligro Sísmico para QUITO (-0.2; -78.51) a diferentes Períodos Estructurales



Período de retorno	Tasa anual de excedencia	Aceleración Espectral Esperada	
$T_r$	$1/T_r$	$S_s (T=0,2s)$	$S_1 (T=1,0s)$
2475	0,0004	1,58	0,42

# Metodología FEMA P-154

- Registro de datos característicos
- Edificios de mampostería no reforzada

400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1																	
401	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL																
		W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
					(MRF)	(BR)	(LM)	(RC SW)	(URM ING.)	(MRF)	(SW)	(URM INF)	(TU)		(FD)	(RD)		
402	PUNTAJE BÁSICO	2,1	1,9	1,8	1,5	1,40	1,6	1,4	1,2	1	1,2	0,9	1,1	1	1,1	1,1	0,9	1,1
403	IRREGULARIDADES																	
403A	Irregularidad vertical Grave, VL1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
403B	Irregularidad vertical Moderada, VL1	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-1	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
404C	Irregularidad en planta, PL1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
405	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																	
405A	Pre-código moderno ( construido antes de 2001) o auto construcción	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0	0
405B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
405C	Post código moderno (construido a partir de 2015)	1,9	1,9	2	1	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
406	SUELO																	
406A	Suelo Tipo A o B	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0	-0,1
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0	NA
407	Puntaje Mínimo	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1
408	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																	0,3

# Metodología FEMA P-154

Nombre de Bldg:	Puntuación de Nivel Final 1:	$S_{L2} = 0,3$	<i>(no considere <math>S_{MIN}</math>)</i>	
Inspector: Nicole Galarza, Johanna Pillajo	Modificadores de irregularidad de nivel 1:	Irregularidad en Planta, $PL_1 = -0,3$	-0,3	Irregularidad en Elevación $VL_1 = -0,3$
Fecha/Hora: 08/11/22 10:15 am	<b>PUNTUACIÓN DE LÍNEA DE BASE AJUSTADA:</b>	$S' (S_{L2} - V_{L2} - P_{L2}) = 0,9$	0,9	

El edificio tiene al menos dos vanos de elementos laterales en cada lado del edificio en cada dirección.	0,2	$M = 0,2$							
El edificio está separado de una estructura adyacente	<table border="1"> <tr> <td>Los pisos no se alinean verticalmente dentro del rango de 0.60m.</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>(Limite en la suma de modificadores de golpes en -0.9)</i></td> <td>-0,7</td> </tr> <tr> <td>Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro.</td> <td>-0,7</td> </tr> <tr> <td>El edificio está al final de la cuadra o filas del edificio</td> <td>-0,4</td> </tr> </table>		Los pisos no se alinean verticalmente dentro del rango de 0.60m.	<i>(Limite en la suma de modificadores de golpes en -0.9)</i>	-0,7	Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro.	-0,7	El edificio está al final de la cuadra o filas del edificio	-0,4
Los pisos no se alinean verticalmente dentro del rango de 0.60m.	<i>(Limite en la suma de modificadores de golpes en -0.9)</i>		-0,7						
Un edificio es 2 o más pisos más alto que el otro.			-0,7						
El edificio está al final de la cuadra o filas del edificio			-0,4						
Es visible una geometría de arriostramiento "K".	-0,7								
La losa plana sirve como viga en el marco de momento.	-0,3								
Hay amarres de techo a pared que son visibles o conocidos a partir de planos que no dependen de la flexión de	0,2								
El edificio tiene paredes interiores estrechamente espaciadas y de altura completa (en lugar de un espacio interior con pocas paredes, como en un almacén).	0,2								
Las paredes a dos aguas están presentes.	-0,3								
Hay un sistema de refuerzo sísmico suplementario previsto entre el transporte y el suelo.	0,5								
El reacondicionamiento sísmico completo es visible o conocido a partir de planos	1,2								
<b>NIVEL FINAL 2 SCORE, <math>S_{L2} (S' + V_{L2} + P_{L2} + M) \geq S_{MIN}: 0,9+0+0+0,2=1,1</math></b>									

## Categorización de la vulnerabilidad sísmica

	Grado de Vulnerabilidad	Nivel 1	Nivel 2
$S < a 2,3$	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial	0,30	1,10
$2,3 \leq S < 2,5$	Media vulnerabilidad		
$S \geq 2,5$	Baja vulnerabilidad		

- Permite reconocer la vulnerabilidad cualitativa
- Propiedades intrínsecas



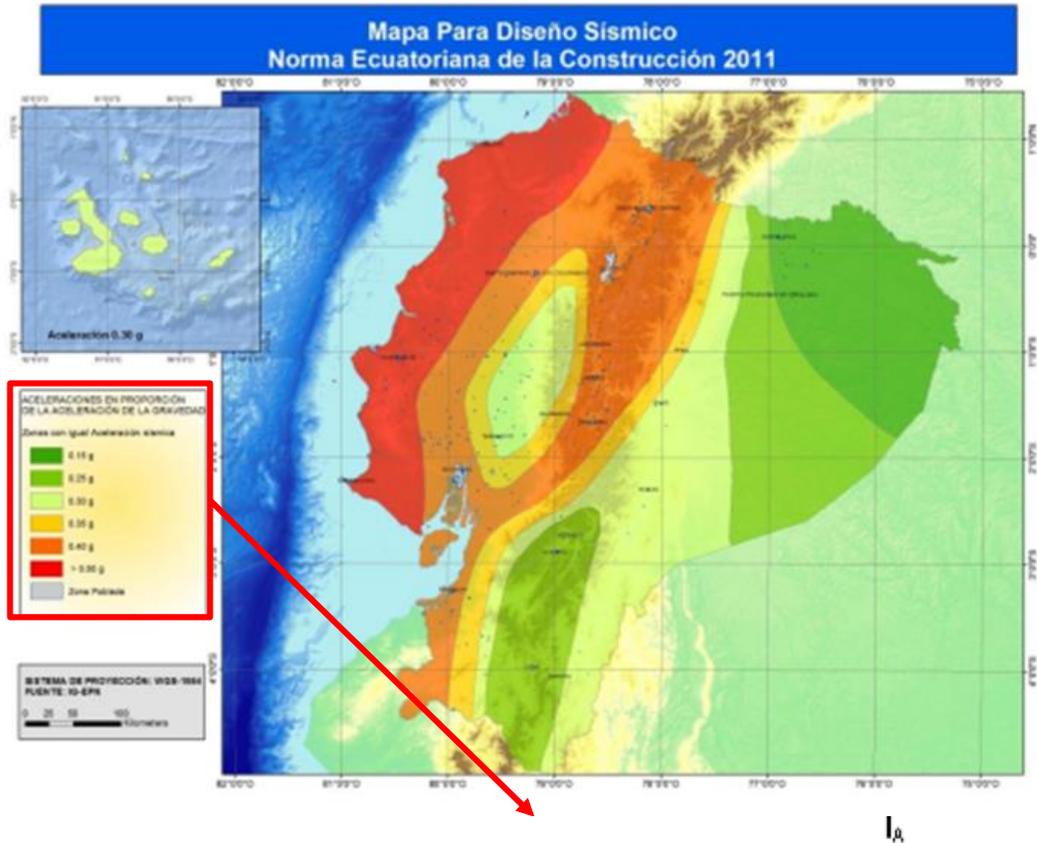
Sistema estructural	Información del edificio	Atributos exteriores	Techo/Piso/Cimiento	Introducción	Haz clic y ayuda
Dirección X	Dirección Y	<input checked="" type="checkbox"/> Usar los mismos parámetros en ambas direcciones			
Especificación de dirección:					
<input checked="" type="radio"/> dirección no especificada <input type="radio"/> Paralelo a la calle					
Material del sistema resistente a carga lateral					
Tipo de material:		Tecnología de materiales:			
Masonry, unreinforced		Fired clay solid bricks			
Propiedades materiales:		Tecnología de materiales (adicional):			
Mud mortar					
Sistema resistente a cargas laterales					
Tipo de sistema resistente a cargas laterales:			Ductilidad del sistema:		
Post and beam			Non-ductile		
Cadena de taxonomía para esta tipología de edificio:					
DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/C					
Tipo de taxonomía:		Omitir desconocido			
		<a href="#">Enlace permanente</a> <a href="#">Explicación</a>			

## TAXONOMÍA

DX/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/DY/MUR+CLBRS+MOM/LPB+DNO/HBET:1,2+HBEX:0+HFEX:3.63+HD:3/YAPP:1960/GOV+GOV1/BPD/PLFI/IRIR+IRPP:REC+IRPS:REC+IRVP:CHV+IRVS:CHV/EWE/RS H3+RMT1+RO+RWCP/FO+FWCP/FOSDN+HD:3/YAPP:1960/GOV+GOV1/BPD/PLFE/IRIR+IRPP:REC+IRPS:REC+IRVP:CHV+IRVS:CHV/EWE/RSH3+RMT1+RO+RWCP/FO+FWCP/FOSDN.

# Metodología FUNVISIS

- Índice de Amenaza



Zona	Peligro Sísmico	$A_o$	Sin efectos topográficos	Con efectos topográficos
7	Elevado	0,40	0,90	1,00

- Índice de Vulnerabilidad

Vulnerabilidad asociada a:	$I_i$	$\alpha_i$	$I_i * \alpha_i$	
Antigüedad y norma utilizada	$I_1$	100	0,25	25,00
Tipo estructural	$I_2$	90	0,35	31,50
Irregularidad	$I_3$	100	0,25	25,00
Profundidad del depósito	$I_4$	0	0,07	0,00
Topografía y drenajes	$I_5$	20	0,04	0,80
Grado de deterioro	$I_6$	20	0,04	0,80
	$I_v$			<b>83,10</b>

- Índice de Importancia

Uso del edificio	$N \leq 10$	$10 < N \leq 100$	$100 < N \leq 500$	$500 < N \leq 1000$	$N > 1000$
A1	0,90	0,92	0,95	0,97	1
A2	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95
A3	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90

Edificación	$I_A$	$I_V$	$I_I$	$I_P$	$I_R$
Patrimonial 1	0,90	83,10	0,87	65,07	74,79

- Índice de Riesgo

$$I_R = I_A * I_V$$

- Índice de Vulnerabilidad

Calificación del Riesgo	$I_R$
	Rango de Valores
Muy Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Medio Alto	$15 \leq I_R < 25$
Medio Bajo	$8 \leq I_R < 15$
Bajo	$3 \leq I_R < 8$
Muy Bajo	$0 \leq I_R < 3$

$I_V$	Calificación de la Vulnerabilidad
	Rango de Valores
$60 \leq I_V \leq 100$	Muy Elevada
$40 \leq I_V < 60$	Elevada
$30 \leq I_V < 40$	Media Alta
$20 \leq I_V < 30$	Media Baja
$10 \leq I_V < 20$	Baja
$0 \leq I_V < 10$	Muy Baja

<b>Edificación</b>	$I_A$	$I_V$	$I_I$	$I_p$
<b>Patrimonial 1</b>	0,90	83,10	0,87	65,07

- **Índice de Priorización**

$$I_p = I_A * I_V * I_I$$

Calificación de la Priorización	$I_p$	Rango de Valores
(Prioridad máxima) P1	$60 \leq I_p \leq 100$	
P2	$50 \leq I_p < 60$	
P3	$40 \leq I_p < 50$	
P4	$30 \leq I_p < 40$	
P5	$25 \leq I_p < 30$	
P6	$20 \leq I_p < 25$	
P7	$16 \leq I_p < 20$	
P8	$12 \leq I_p < 16$	
P9	$8 \leq I_p < 12$	
P10	$5 \leq I_p < 8$	
P11	$2 \leq I_p < 5$	
(Prioridad mínima) P12	$0 \leq I_p < 2$	

Calificaciones de Indices	
Vulnerabilidad	Muy Elevada
Riesgo	Muy Elevado
Priorización	(Prioridad máxima) P1



- Estado crítico
- Elevado nivel de peligro sísmico
- Análisis de estudios detallados

# Ensayo de Refracción Sísmica



**Materiales, equipos e insumos**

# Ensayo de Refracción Sísmica

- **Instalación de equipos,** evaluar estado del suelo.



- **Método activo,** ondas registradas en sismógrafo.

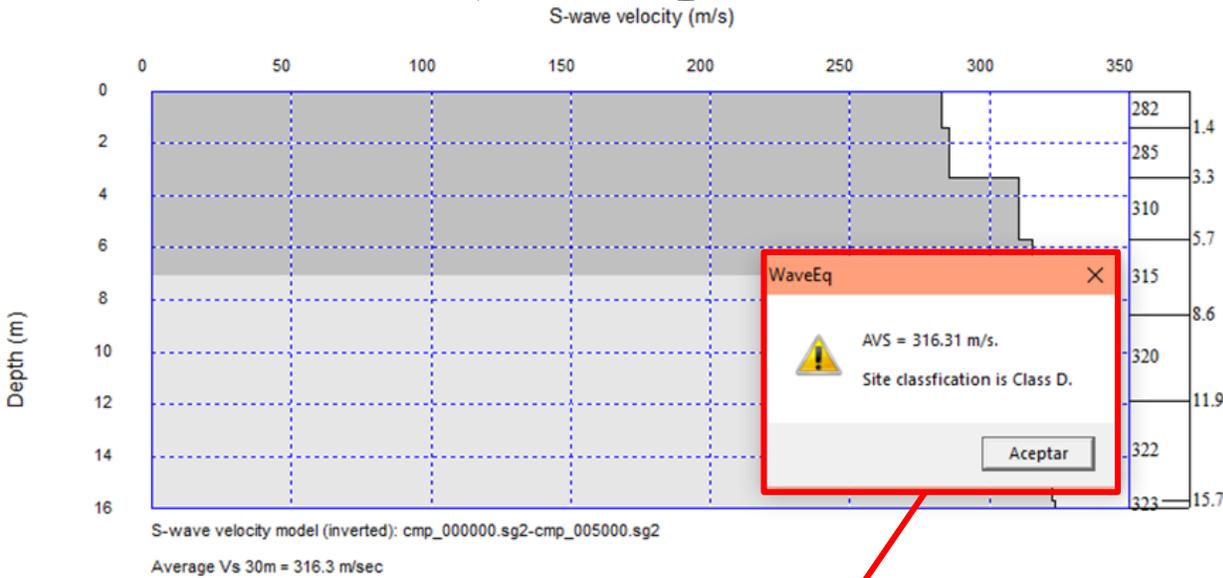


- **Método pasivo,** medidas pasivas.



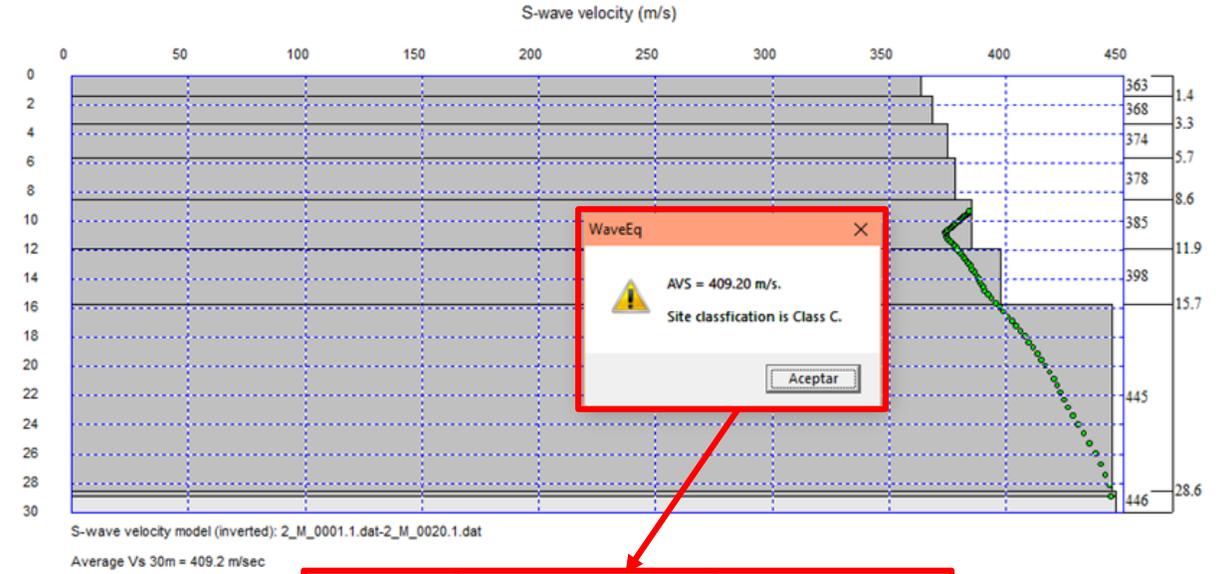
# Ensayo de Refracción Sísmica

- Método activo, SeisImager



WaveEq dialog box:  
AVS = 316.31 m/s.  
Site classification is Class D.  
Aceptar

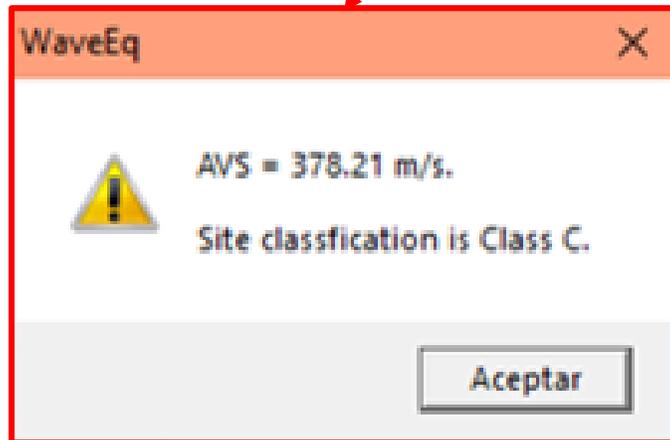
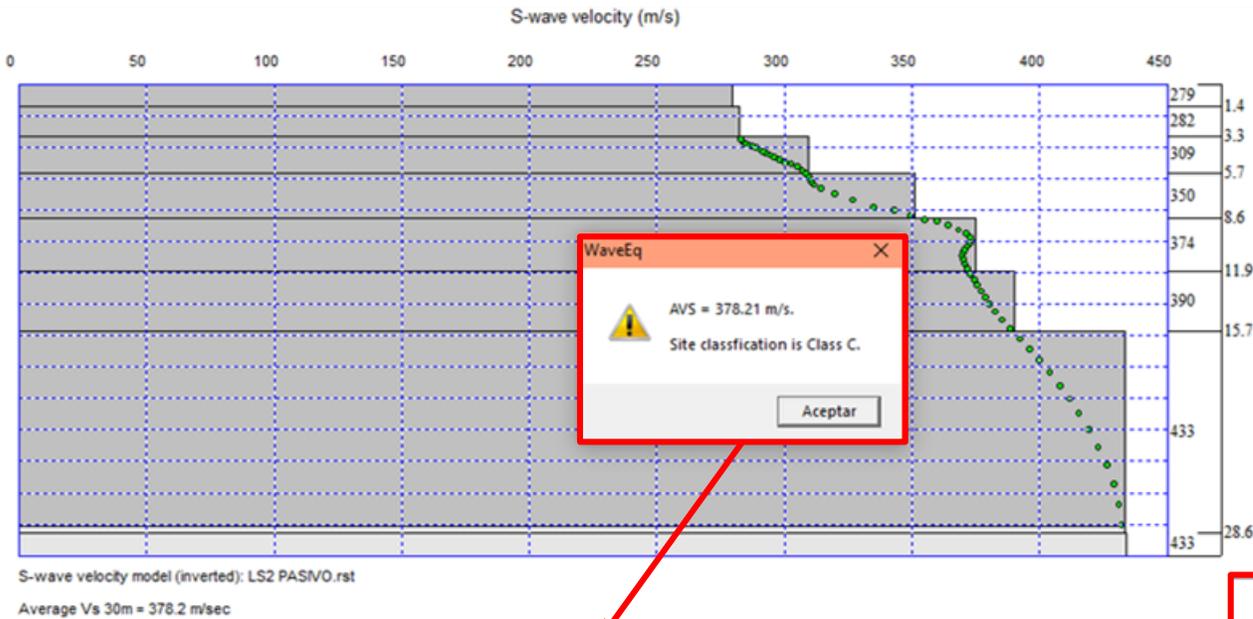
- Método pasivo



WaveEq dialog box:  
AVS = 409.20 m/s.  
Site classification is Class C.  
Aceptar

# Ensayo de Refracción Sísmica

- **Método combinado**, agrupa curvas de dispersión.



En concordancia con:

Clases de suelo	Período natural del sitio $T_0$ (s)	Promedio de las velocidades de onda de corte (m/s)	Equivalencia con la clasificación del NEHRP
SI (roca/suelo rígido)	$T_0 < 0,2$	$V_{s30} > 600$	A + B
SII (suelo firme)	$0,2 = T_0 < 0,4$	$300 < V_{s30} = 600$	C

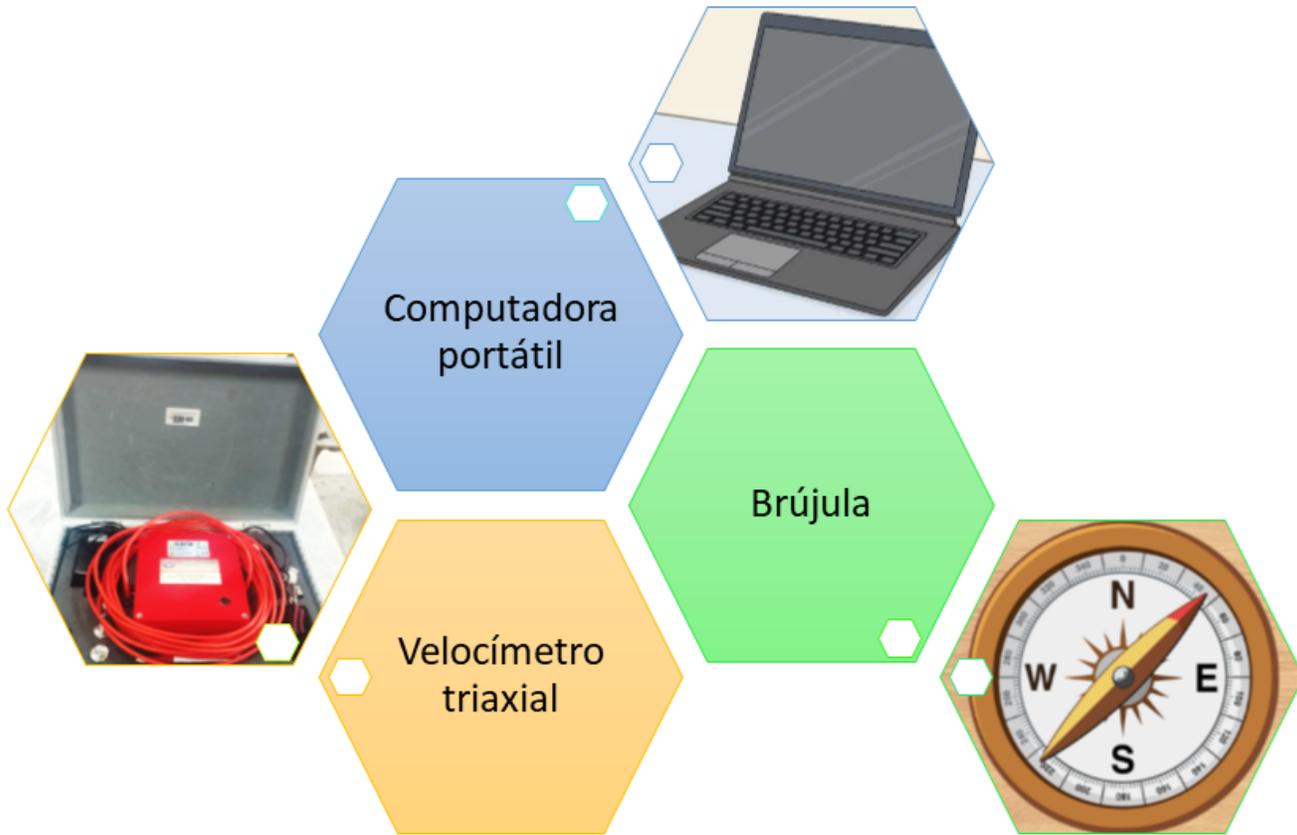
Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil tipo roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil roca rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$

	$V_{s30}$ (m/s)	Tipo de suelo
<b>Edificación patrimonial 1</b>	378,20 m/s; entre 760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s	C: Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante
	378,20 m/s; entre 300 m/s > $V_s = 600$ m/s	C: SII (suelo firme)
	378,20	Clasificación C

Según (NEC-15, 2015)  
Según NEHRP  
Según el software Surface Wave Analysis



# Ensayo de Nakamura



# Ensayo de Nakamura



Selected  $f_0$  frequency

26.857 Hz

$A_0$  amplitude = 2.445

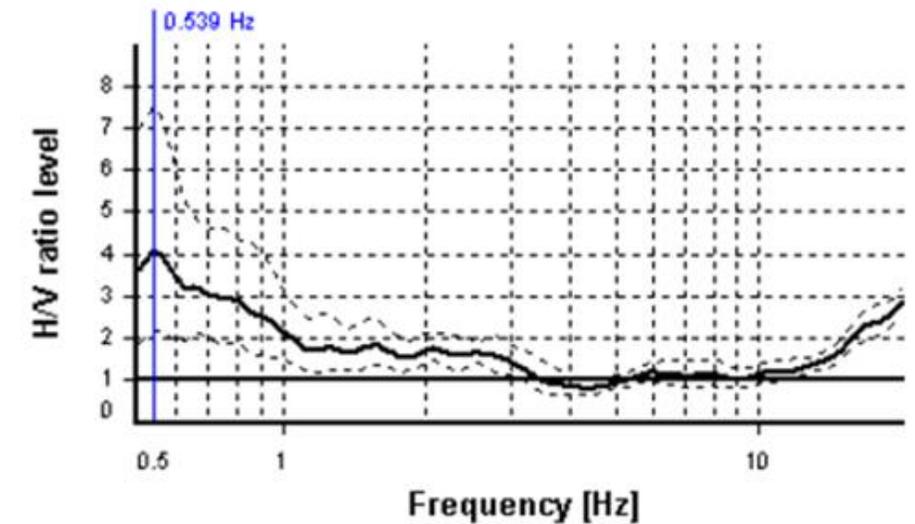
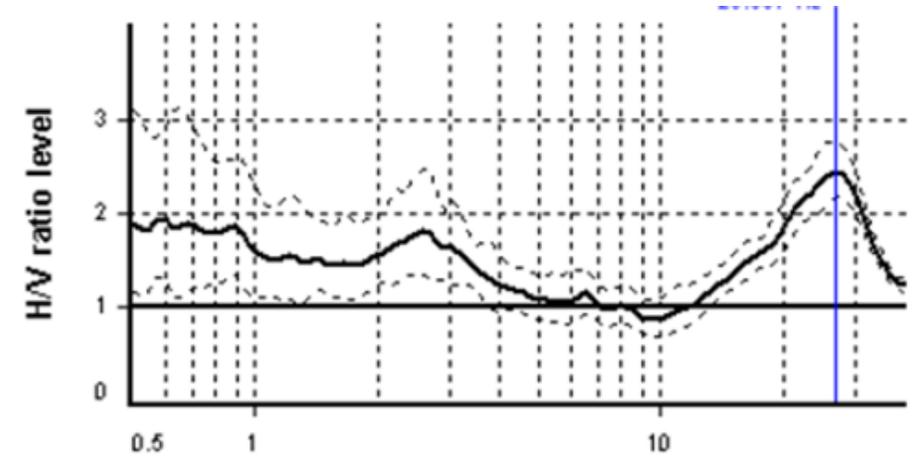
Average  $f_0 = 27.019 \pm 1.292$

Selected  $f_0$  frequency

0.539 Hz

$A_0$  amplitude = 4.066

Average  $f_0 = 0.595 \pm 0.081$



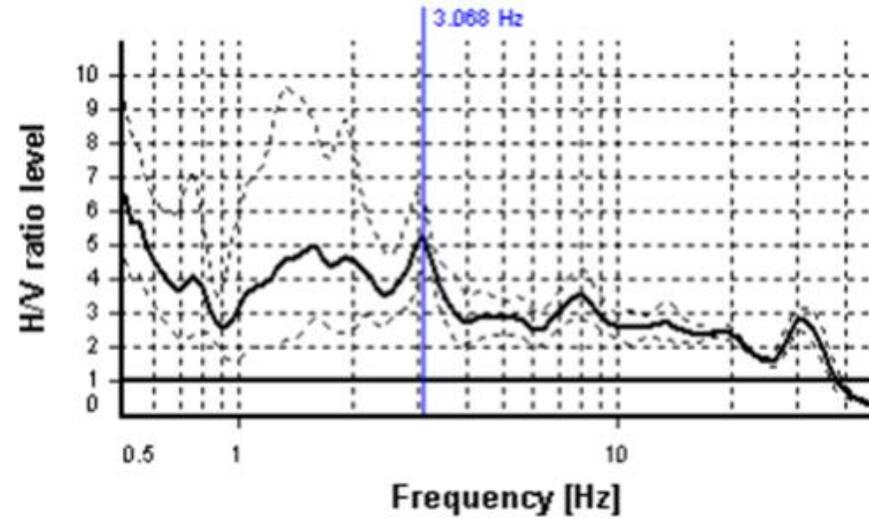
# Ensayo de Nakamura

**Selected  $f_0$  frequency**

**3.068 Hz**

**$A_0$  amplitude = 5.257**

**Average  $f_0$  =  $2.834 \pm 0.372$**



*Correlación entre clases de suelo,  $T_0$  y rangos de velocidades  $V_{s30}$ .*

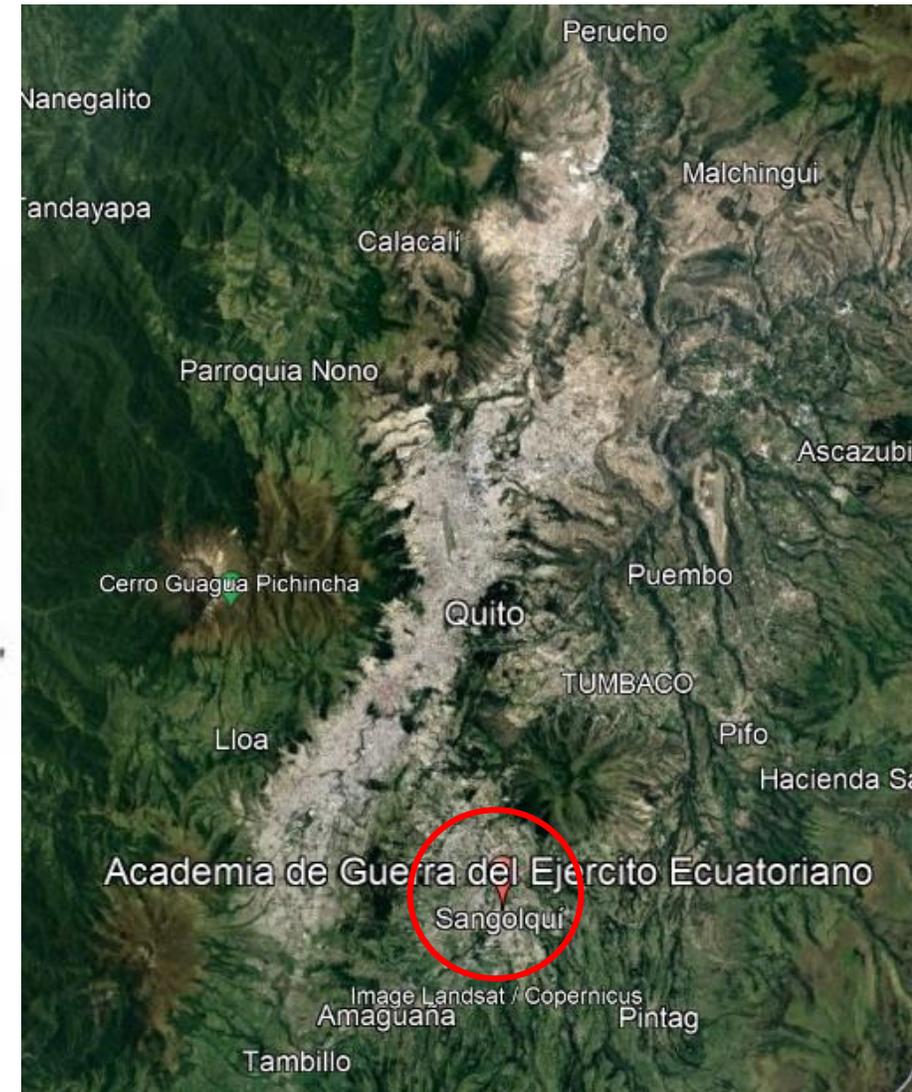
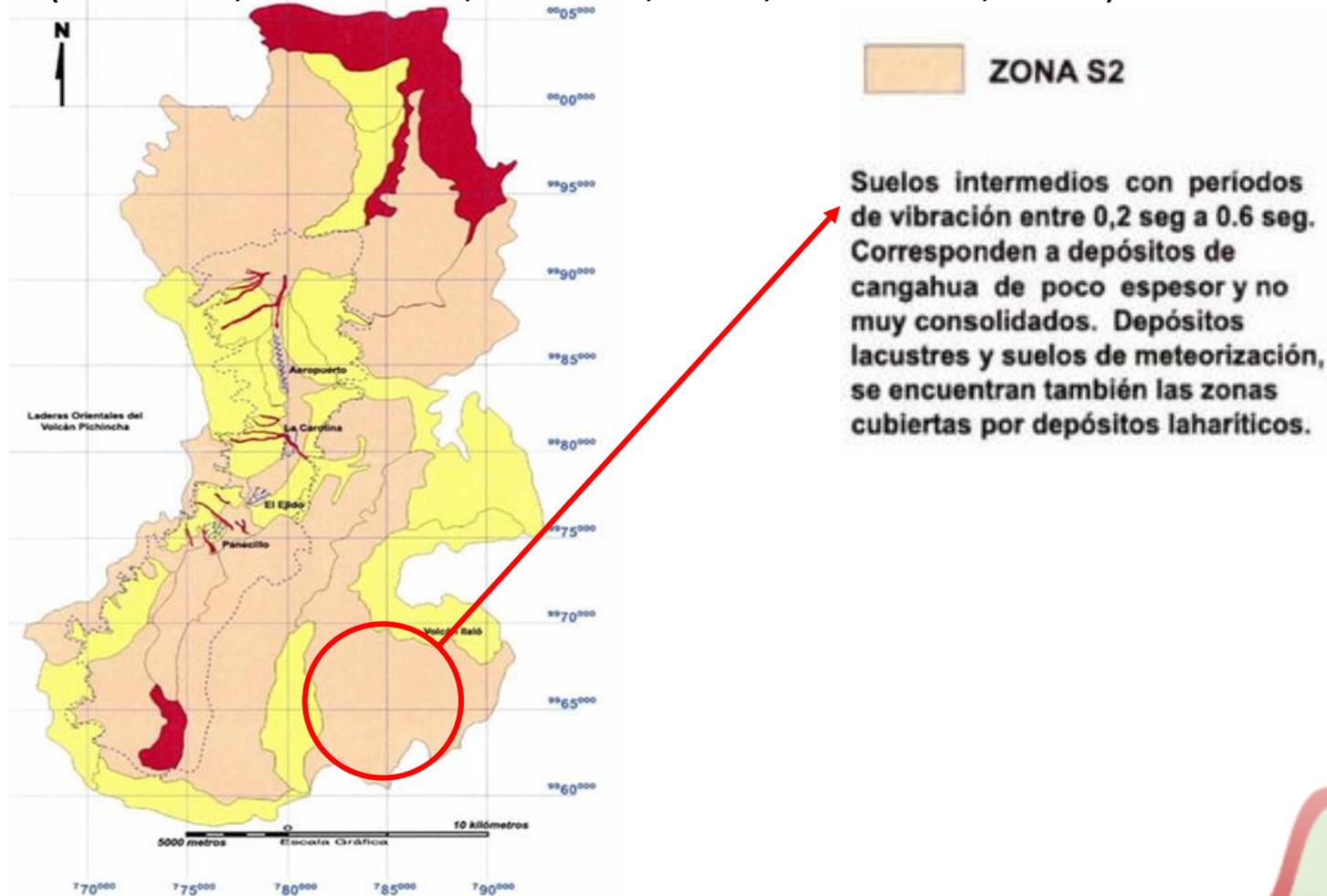


Clases de suelo	Período natural del sitio $T_0$ (s)	Promedio de las velocidades de onda de corte (m/s)	Equivalencia con la clasificación del NEHRP
SI (roca/suelo rígido)	$T_0 < 0,2$	$V_{s30} > 600$	A + B
SII (suelo firme)	$0,2 = T_0 < 0,4$	$300 < V_{s30} = 600$	C
SIII (suelo medio)	$0,4 = T_0 < 0,6$	$200 < V_{s30} = 300$	D
SIV (suelo blando)	$T_0 = 0,6$	$V_{s30} = 200$	E

# Ensayo de Nakamura

## Estudio “Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito”

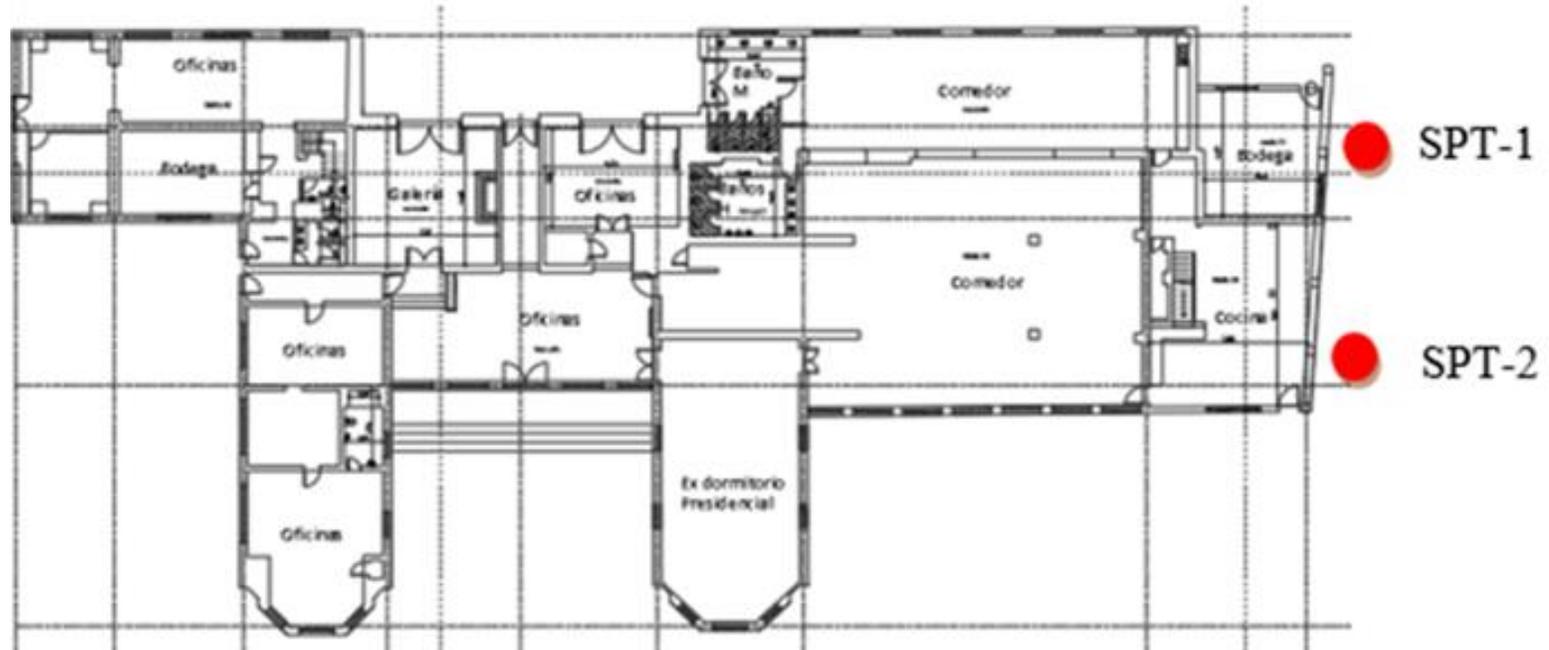
(Valverde, Fernández, Jiménez, Vaca, & Alarcón, 2011)



# Ensayo de Penetración Estándar SPT



- Contabilizar  $N_{spt}$
- Ensayos de laboratorio



# Ensayo de Penetración Estándar SPT

Número de golpes registrados en las perforaciones.

N. Sondeo	Prof. (m)	Número de golpes				N SPT
		N 0-15	N 15-30	N 30-45	N 45-60	
SPT1	1,80	25	20	14	R	34
SPT2	1,50	8	11	13	-	24
	2,00	16	18	18	8	36

Corrección número de golpes

N. Sondeo	Prof. (m)	N SPT	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (T/m <sup>2</sup> )	Ncorr
SPT1	1,80	34	1,60	2,88	30
SPT2	1,50	24	1,60	2,40	23
	2,00	36	1,60	3,20	30



- Sobrecarga efectiva del suelo
- Energía del martillo
- Resistencia interna
- Diámetro de perforación

# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Contenido de humedad



# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Contenido de humedad

$$W = \left[ \frac{(M_{cws} - M_{cs})}{M_{cs} - M_c} \right] * 100 = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

*Contenido de humedad de las muestras*

Perforación	Tara	Peso tara (g)	<u>MH+tara</u> (g)	<u>MS+tara</u> (g)	Peso agua (g)	%W
SPT1-1	12A	122,80	255,20	232,40	22,80	20,80
SPT2-1	55	126,50	238,30	215,20	23,10	26,04
SPT2-2	17C	121,80	249,50	229,80	19,70	18,24

# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Análisis granulométrico



Numeración de tamiz	Abertura (mm)
3/8"	9,510
No. 4	4,760
No. 10	2,000
No. 40	0,420
No.200	0,074

$$\% \text{Retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{W_1} * 100$$

Muestra	Tara	Peso Tara	Masa húmeda	%W	Masa inicial seca
SPT1-1	T11	106,30	189,00	20,80	156,45
SPT2-1	T3	108,30	189,00	26,04	149,95
SPT2-2	1C	109,20	189,00	18,24	159,84

# Ensayo de Penetración Estándar SPT

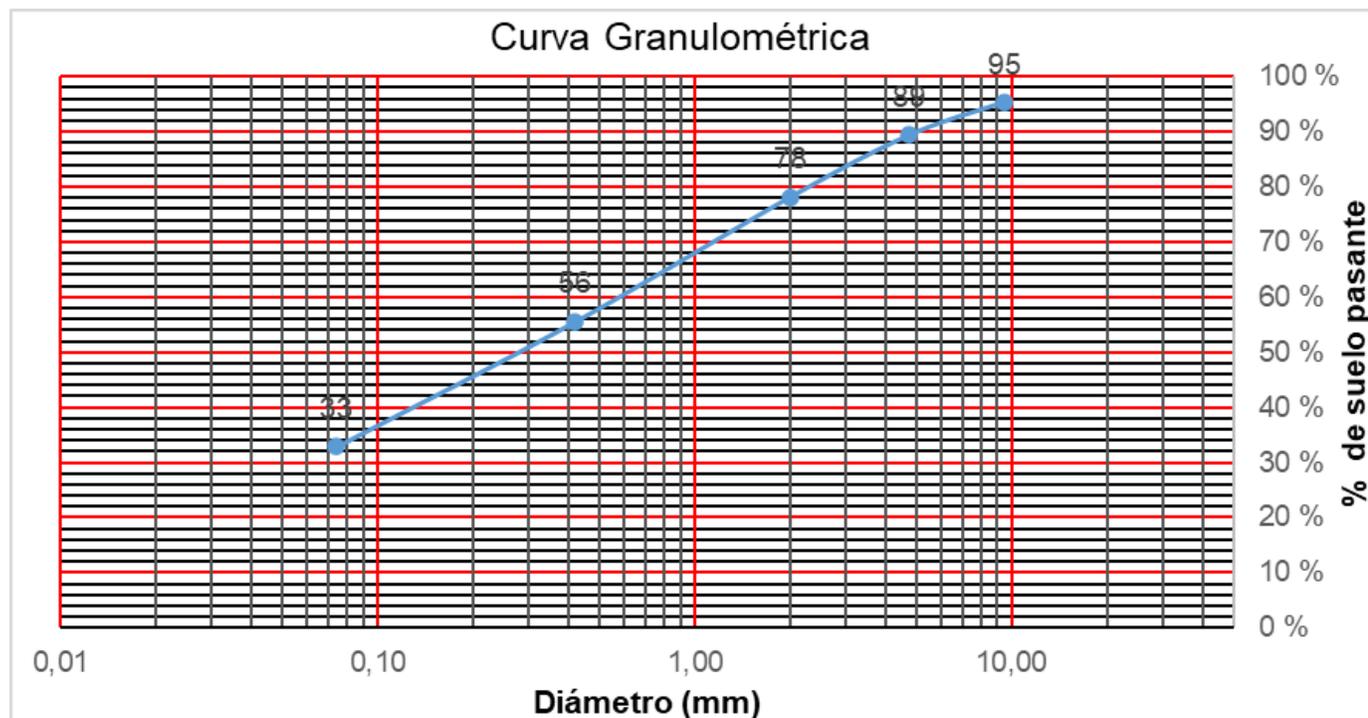
## Análisis granulométrico

Porcentaje de suelo, muestra SPT1-1

<b>Porcentaje de gravas</b>	11
<b>Porcentaje de arenas</b>	57
<b>Porcentaje de finos</b>	33

Granulometría Muestra SPT1-1

Numeración de tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% suelo retenido	% de suelo pasante
3/8"	9,51	7,20	7,20	4,6	95
No. 4	4,76	9,34	16,54	10,6	89
No. 10	2,00	17,60	34,14	21,8	78
No. 40	0,42	35,30	69,44	44,4	56
No.200	0,07	35,50	104,94	67,1	33



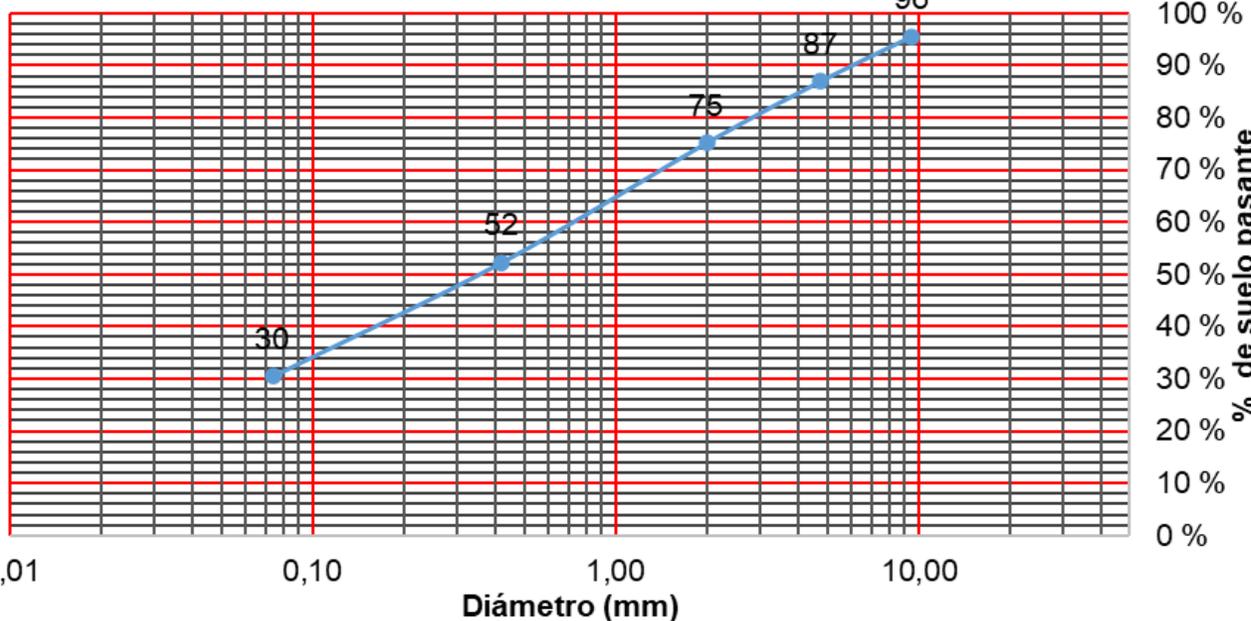
# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Análisis granulométrico

Porcentaje de suelo, muestra SPT2-1

Porcentaje de gravas	11
Porcentaje de arenas	55
Porcentaje de finos	35

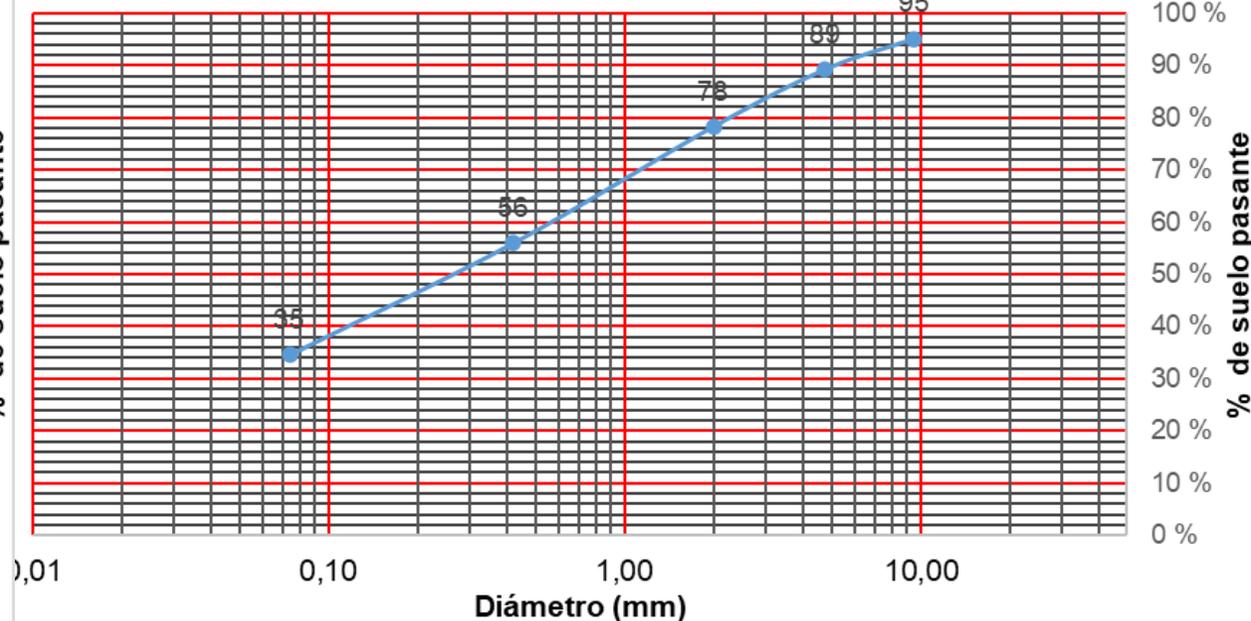
Curva Granulométrica



Porcentaje de suelo, muestra SPT2-2

Porcentaje de gravas	13
Porcentaje de arenas	57
Porcentaje de finos	30

Curva Granulométrica



**ESPE**

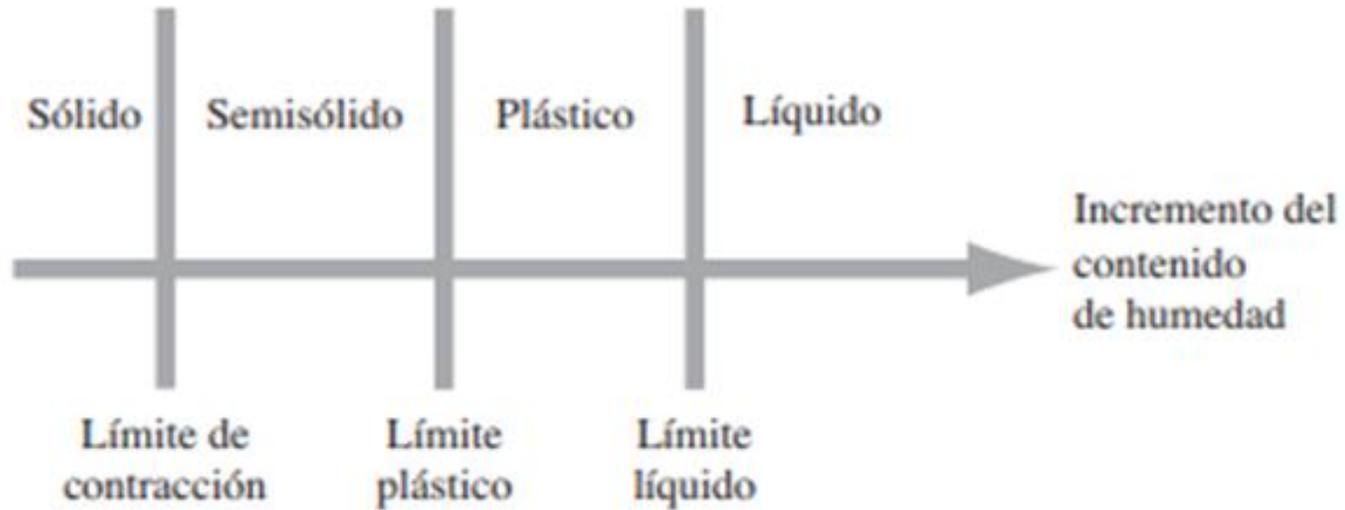
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Límites de Atterberg

Transición de las partículas



Equipo de Casa Grande



# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Clasificación SUCS

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	<b>Gravas</b> Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos <sup>a</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos <sup>a,d</sup>	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas limpias	Menos de 5% finos <sup>b</sup>	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Arenas con finos	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
	Más de 12% finos <sup>b,d</sup>	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	<b>SM</b>	
		$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	CL
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	ML
	<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OL	OL
		Orgánico	Gráficos $PI$ en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
			Gráficos $PI$ por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
			$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt

# Ensayo de Penetración Estándar SPT

## Carga admisible del suelo

Cargas transmitidas de la estructura al suelo

Anchos de cimentación/Cargas/Presión de Contacto				
	Lado B	Carga *	Presión de Contacto (q)	
Tipo	(m)	(T)	(T/m <sup>2</sup> )	(kPa)
Viga	1,20	60,00	12,50	122,58
Zapata	2,00	60,00	15,00	147,10
Losa	5,00	60,00	2,40	23,54

Nota: Son cargas estimadas

Resultados cálculos de carga y asentamiento

Suelo de cimentación	Ancho de la cimentación (m)	Tipo de cimentación	Profundidad (m)	Capacidad de carga requerida (T/m <sup>2</sup> )	Capacidad de carga admisible (T/m <sup>2</sup> )	Asentamiento previsible (mm)
SM	1,2	Viga de cimentación	1,5	12,50	19,80	3,15
SM	2	Zapata cuadrada	1,5	15,00	15,35	5,54
SM	5	Losa	1,5	2,40	10,23	1,76

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,05} \text{ si } B \leq 1,2m \quad \text{para zapatas corridas} \quad (22)$$

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,08} * \frac{(B + 0,3)^2}{B^2} \text{ si } B > 1,2m \quad \text{para zapatas cuadradas} \quad (23)$$

$$q_{adm} = \frac{N_{corr} * kd}{0,08} \quad \text{para losas de cimentación} \quad (24)$$

Donde:

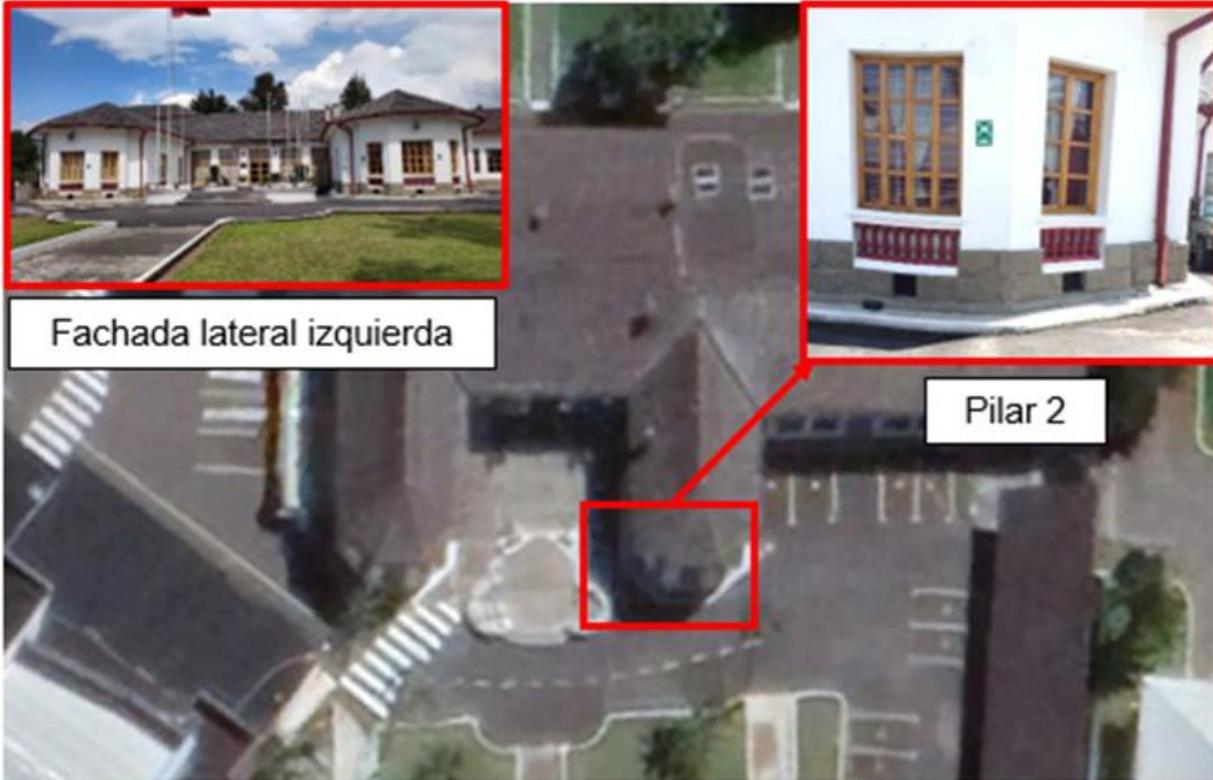
$$kd = 1 + 0,33 \frac{Df}{B} \leq 1,33 \quad (25)$$

Asentamiento efectivo del suelo

$$S = (B^{0,75}) * \left( \frac{1,7}{N_{corr}^{1,4}} \right) q$$

# Pachómetro

En los pilares ubicados en:



- Equipos



*Pachómetro marca BOSCH*



*Flexómetro y lápiz*

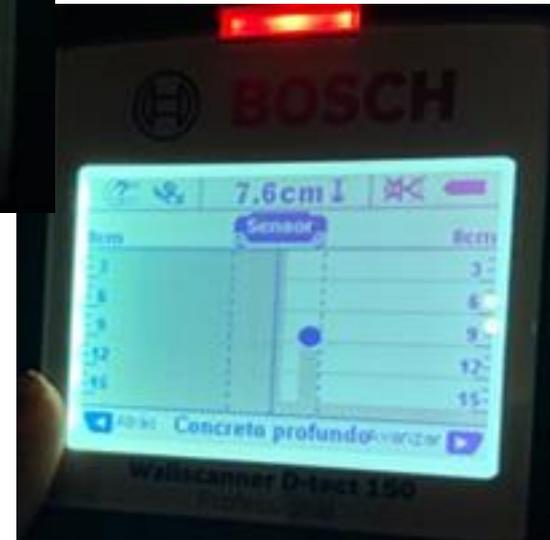


# Pachómetro

No se detectó un material en específico en pilares.



- **Sentido longitudinal**



- **Sentido transversal**



No existen reforzamientos o armaduras internas.

## Equipos y accesorios

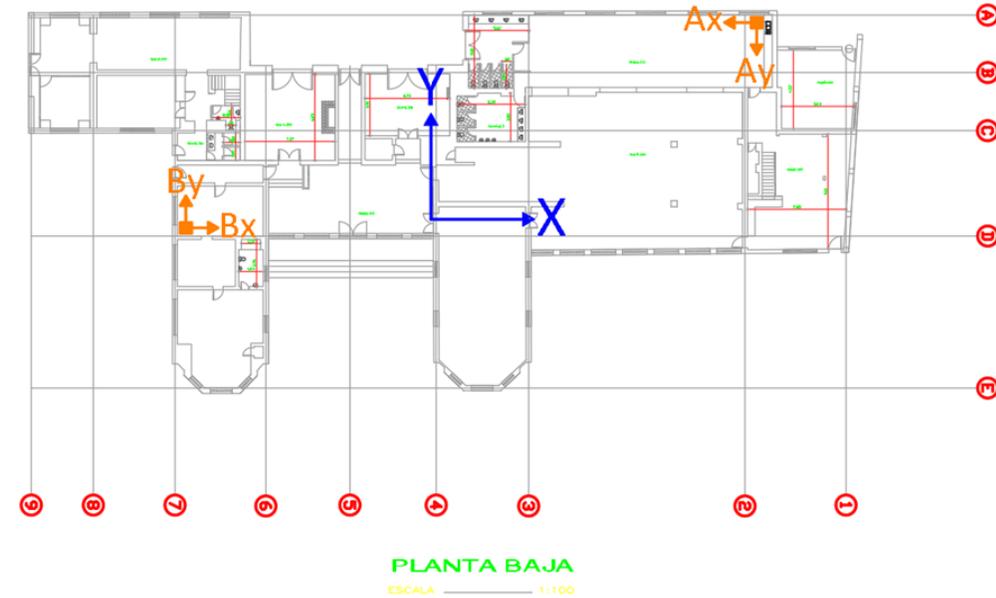


La geometría y número de pisos definen ubicación para AQ.

# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

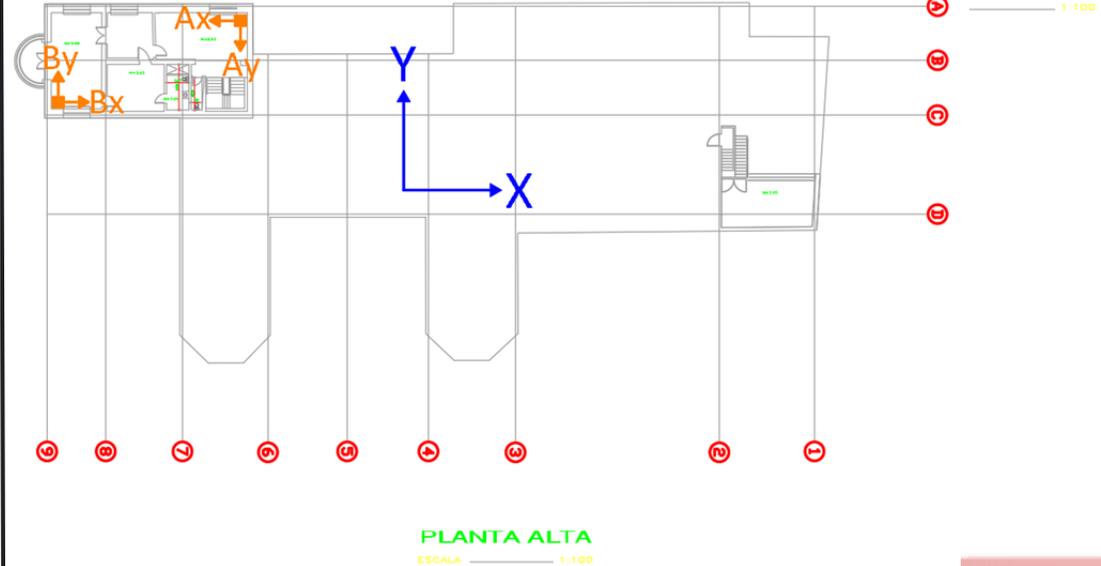
## Instalación y requerimientos

Ubicación de sensores en el ensayo 1  
(sección 1 - 1 piso)



- Dividir señales por dirección.

Ubicación de sensores  
en el ensayo 2 (sección  
2 - 2 pisos)



- Representar localización de sensores.

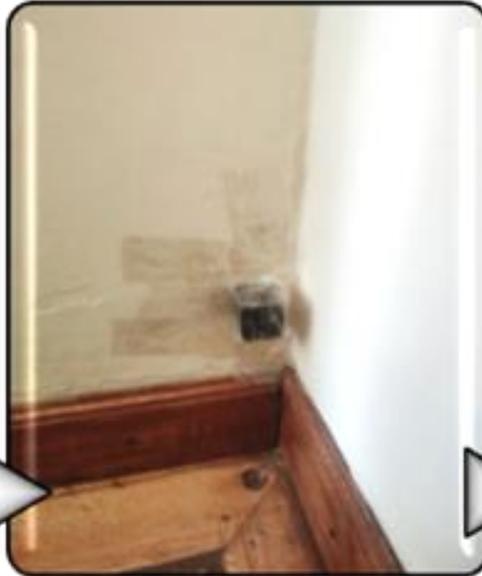
# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

## Instalación:

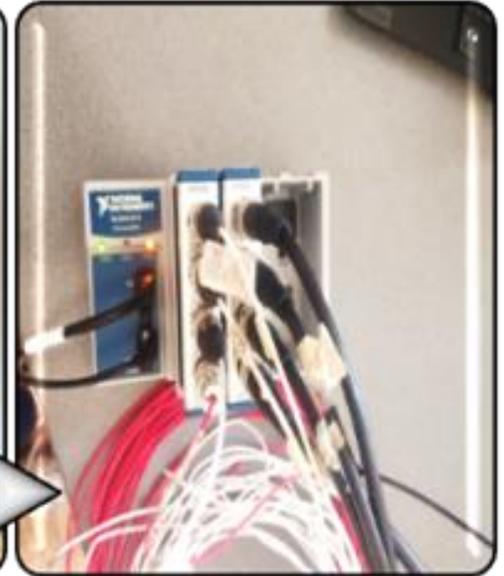
*Dos puntos*



*Esquinas opuestas*



*Puntos A, B, C y D*



*Dos sensores cada uno*

*Sección 1 y 2*

*Sensores X y Y*

# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

## Frecuencias características

Periodo fundamental de de vibración por Eurocódigo 8 (BRITISH STANDARD, 2004), hasta 40m :

$$T_1 = C_t * H^{3/4}$$

Donde:

$C_t = 0,085$  para pórticos de acero;

$0,075$  para pórticos de hormigón;

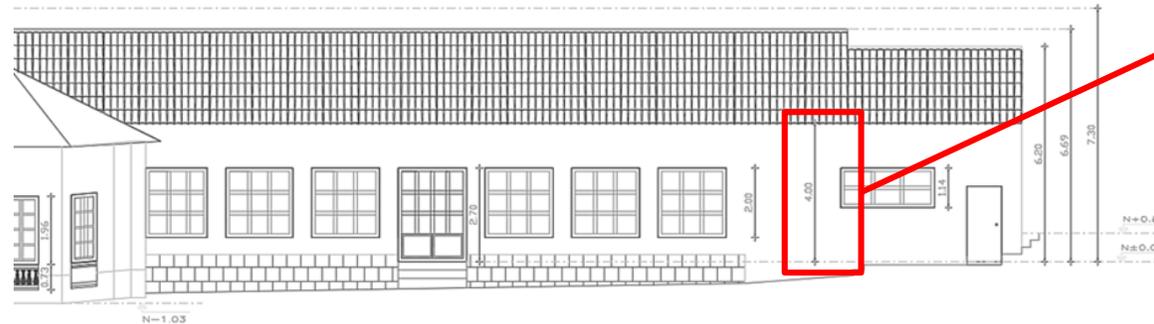
$0,050$  para las demás estructuras.

$H$  = es la altura del edificio, desde los cimientos, m.

Con los datos impuestos:

Sección	$C_t$	H (m)	$T_1$ (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,05	4,00	0,1414	7,0721
2	0,05	7,39	0,2241	4,4623

Sección 1



Sección 2



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

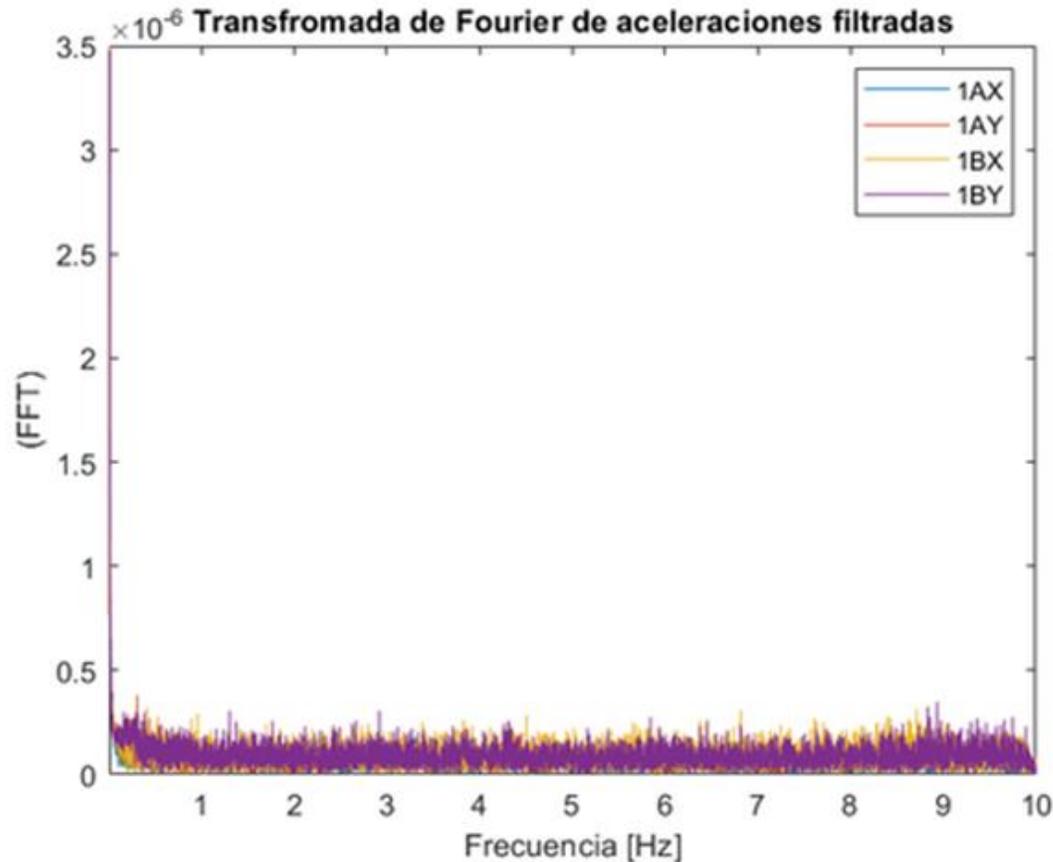


# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

## Finalización del procesamiento:

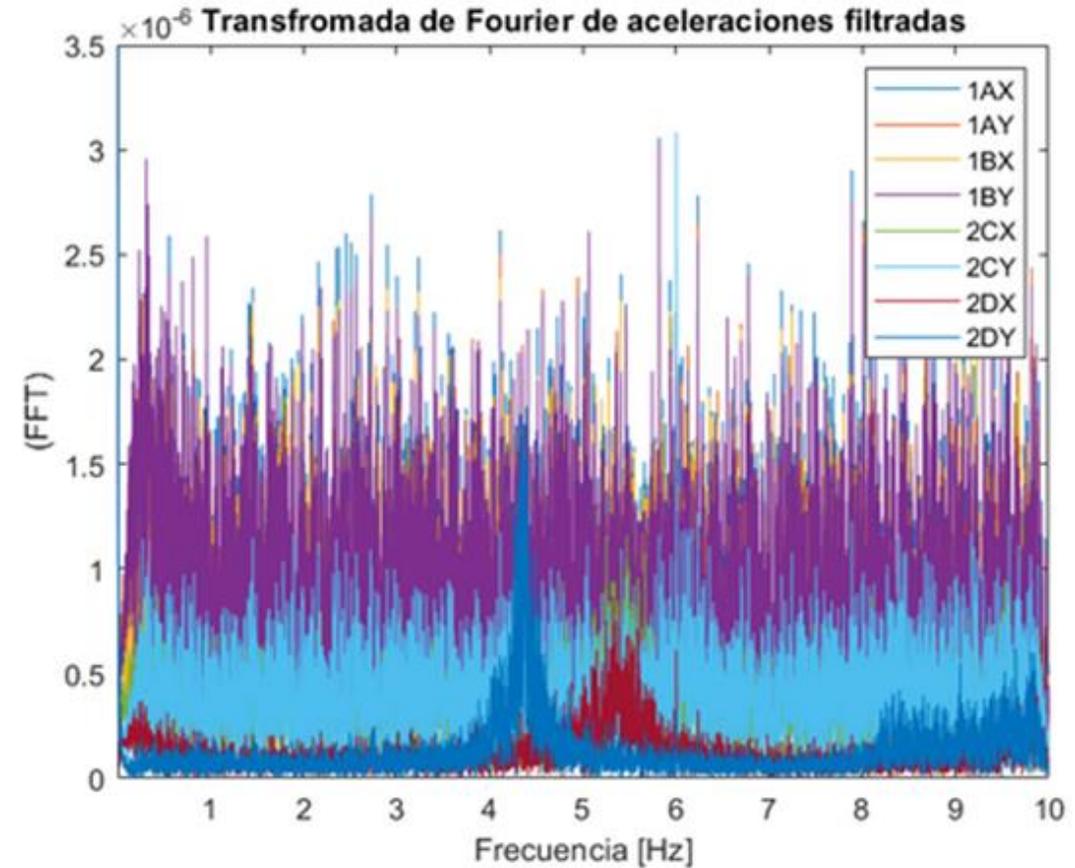
Frecuencia : **Sección 1 = 7,0721 Hz; Sección 2 = 4,4623 Hz**

Ensayo 1 : Sección 1 – un piso



*Gráfica en el dominio del tiempo y de la frecuencia:*

Ensayo 2 : Sección 2 – dos pisos



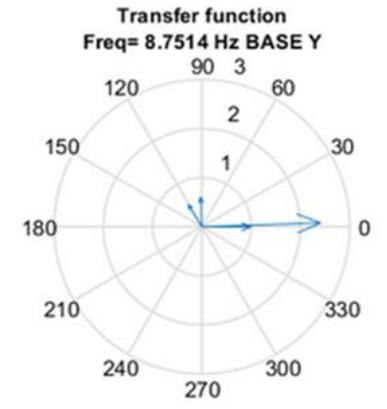
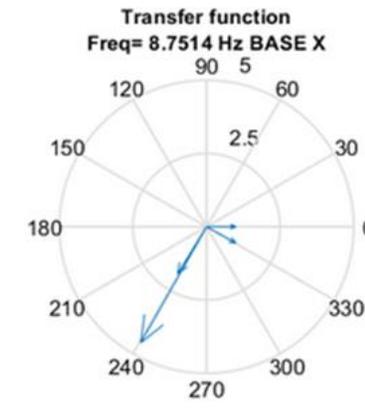
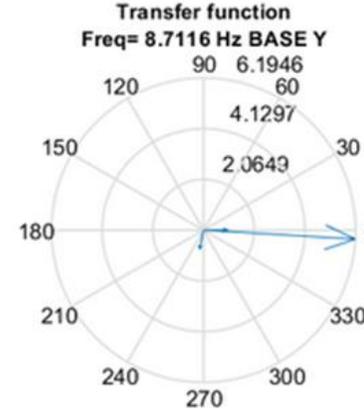
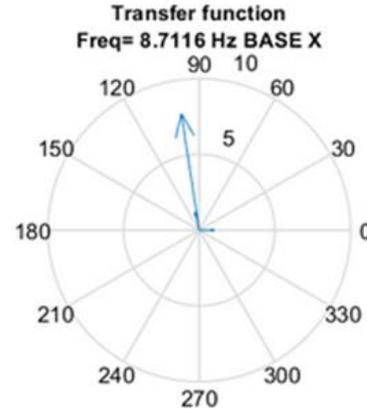
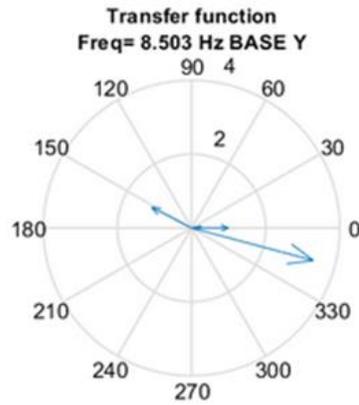
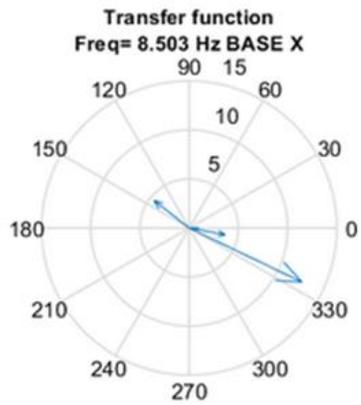
# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

## Frecuencias en fase Hz

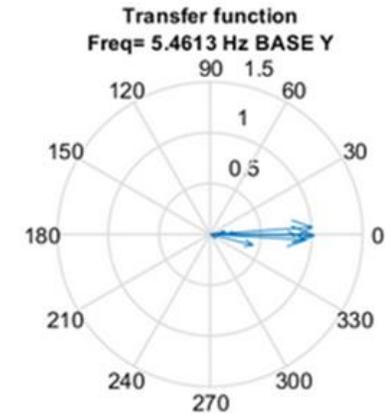
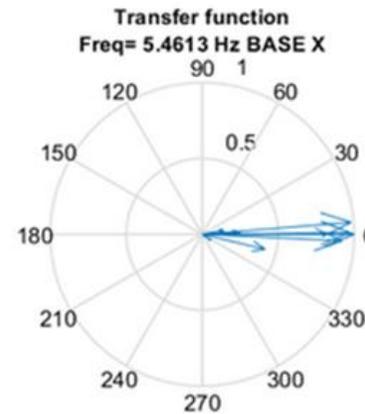
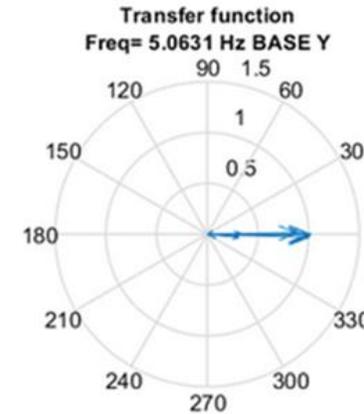
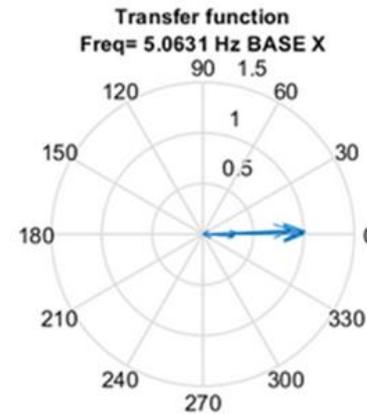
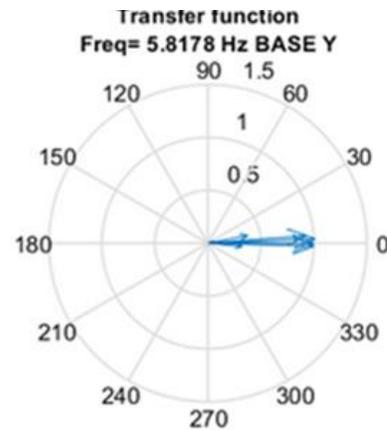
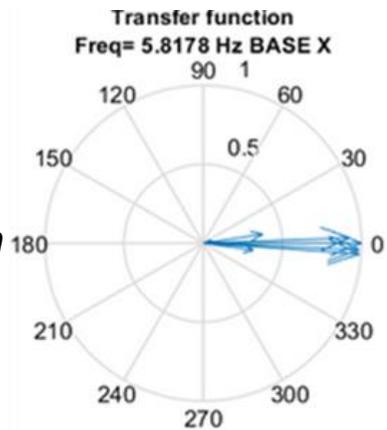
<b>Ensayo 1</b>	8,5030	8,7116	8,7514
<b>Ensayo 2</b>	5,8178	5,0631	5,4613

Valores tomados:

### Ensayo 1 : Sección 1 – un piso



### Ensayo 2 : Sección 2 – dos pisos



Ángulos de los vectores de la función de transferencia en fase

# Instrumentación sísmica (acelerómetros)

## Resultados:

Análisis e iteraciones, ensayos y herramientas como apoyo.

### Vibración Ambiental

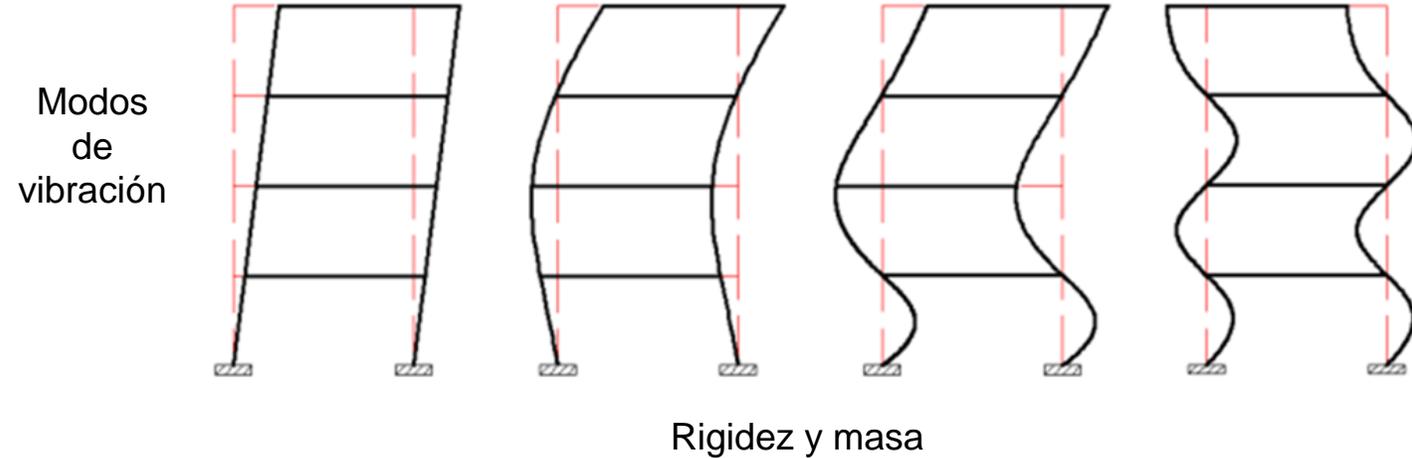
#### Ensayo 1

1 piso	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,1176	8,5030
2	0,1148	8,7116
3	0,1143	8,7514

#### Ensayo 2

2 pisos	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,1719	5,8178
2	0,1975	5,0631
3	0,1831	5,4613

## Desempeño de la estructura ante efectos sísmicos



Control del comportamiento estructural:

	Sección 1		Sección 2	
	Eurocódigo	Software	Eurocódigo	Software
<b>Frecuencia (Hz)</b>	8	Matlab	8	Matlab
	7,0721	8,5030	4,4623	5,0631
<b>Periodo T<sub>1</sub> (seg)</b>	0,1414	0,1176	0,2241	0,1975

# Conclusiones

## Ensayos exploratorios



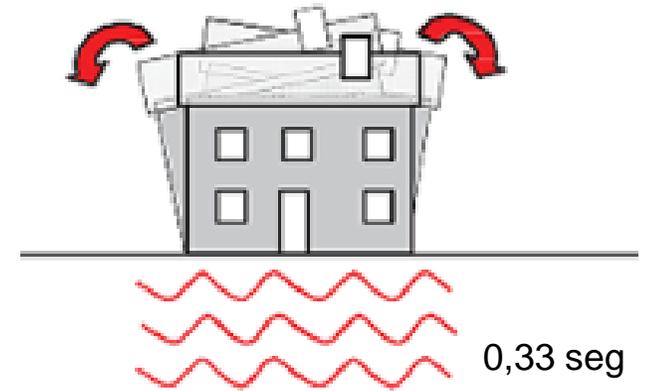
## Métodos cualitativos



## Resonancia

0,1176 seg

0,1975 seg



0,33 seg

- El reforzamiento se da a partir de los resultados de los ensayos.
- Priorizar la conservación integral.
- Desgaste del cumbrero.





**¡MUCHAS GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN!**



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

