



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO SÍSMICO DE  
EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA  
DE LA “URBANIZACIÓN ENACE” – PUNO, SIMULADOS  
NUMÉRICAMENTE EN ESCENARIOS SÍSMICOS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MARITZA BUSTINZA SANCHO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Dedicado a mi madre querida **Irene**, con una intensa alegría y conmoción por ser padre y madre, por brindarme una educación, entenderme y orientarme con sus sabias palabras de aliento y Fortaleza; por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida; y por enseñarme a ser perseverante.*

*A mis hermanos **Saul, Sally y Margie**; quienes conformaron un impulso constante en mi vida.*

***Maritza Bustinza Sancho***



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a mi familia, por guiar mi camino.*

*Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por constituir parte de mi formación profesional.*

*Al personal directivo, docente y no docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por haberme transmitido sus experiencias y conocimientos para una formación académica holística y competitiva.*

*Al Ing. Nicolás Luza Flores asesor de la investigación, quien de modo desinteresado hizo un correcto asesoramiento a la presente tesis de investigación.*

*Al Ing. Jaime Medina Leiva y Al Ing. Emilio Aroni Castillo, quien impulsó esta investigación estando siempre dispuesto a ayudar.*

*Al Ing. Henry Aguilar Chuquimia y a la Ing. Diana E. Quinto Gastiaburu, por sus recomendaciones y apoyo intelectual durante la elaboración del trabajo de investigación.*

**Maritza Bustinza Sancho**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 21**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 23**

**1.3. HIPÓTESIS ..... 23**

1.3.1. Hipótesis general..... 23

1.3.2. Hipótesis general..... 23

**1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 23**

**1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 24**

**1.6. OBJETIVOS ..... 25**

1.6.1. Objetivo General..... 25

1.6.2. Objetivos Específicos ..... 25

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 26**

**2.2. BASES TEÓRICAS ..... 29**



2.2.1.	Tectónica de placas como fuente de eventos sísmicos .....	29
2.2.2.	Ondas sísmicas.....	31
2.2.3.	Magnitud e Intensidad de sismos.....	34
2.2.4.	Amplificación de ondas sísmicas.....	37
2.2.5.	Periodo y frecuencia natural del suelo .....	38
2.2.6.	Riesgo sísmico .....	38
2.2.7.	Peligro sísmico.....	40
2.2.8.	Vulnerabilidad sísmica .....	44
2.2.9.	Albañilería Confinada.....	48
<b>2.3.</b>	<b>MÉTODO GEOTÉCNICO PARA CARACTERIZACIÓN DE SITIO... 49</b>	
2.3.1.	Prueba de penetración estándar (SPT) .....	50
<b>2.4.</b>	<b>CRITERIOS PARA CARACTERIZACIÓN DE SITIO. .... 53</b>	
2.4.1.	Velocidad de onda de corte.....	53
2.4.2.	Clasificación de Sitio .....	54
<b>2.5.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE SITIO..... 59</b>	
2.5.1.	Efecto de la geología superficial.....	59
2.5.2.	Métodos para el análisis de la respuesta sísmica .....	60
<b>2.6.</b>	<b>ESPECTROS DE RESPUESTA..... 61</b>	
2.6.1.	Tipos de espectros de respuesta.....	62
2.6.2.	MÉTODOS PARA DETERMINAR ESPECTROS DE RESPUESTA. ..	63
<b>2.7.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL 64</b>	
2.7.1.	La acción sísmica.....	64
2.7.2.	El daño sísmico .....	65
<b>2.8.</b>	<b>MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ..... 66</b>	
2.8.1.	Generalidades.....	66
2.8.2.	Métodos Empíricos/ Estadísticos.....	68
2.8.3.	Métodos Analíticos/ Mecánicos.....	74



**2.9. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS ..... 79**

**CAPITULO III**

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ..... 82**

**3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO..... 82**

3.2.1. Características Generales ..... 82

3.2.2. Características Demográficas ..... 83

3.2.3. Características de la vivienda ..... 84

3.2.4. Registro de datos de viviendas..... 85

3.2.5. Estudios de la Zona de Investigación ..... 87

**3.3. EXPLORACIÓN DE CAMPO ..... 87**

**3.4. VARIABLES ..... 88**

3.4.1. Variable Independiente ..... 88

3.4.2. Variable Independiente ..... 88

3.4.3. Operacionalización de Variables ..... 90

**3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO ..... 91**

3.5.1. Diseño de la muestra..... 91

3.5.2. Tamaño muestral..... 92

**3.6. EVALUACIÓN GENERAL DE LA ZONA ..... 94**

3.6.1. Geología..... 94

3.6.2. Geotecnia del sub suelo ..... 96

3.6.3. Hidrología ..... 97

3.6.4. Sismicidad Histórica ..... 100

3.6.5. Distribución de máximas intensidades sísmicas ..... 101

**3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS... 102**

3.7.1. Peligro Sísmica ..... 102

3.7.2. Vulnerabilidad Sísmica..... 103



<b>3.8. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>112</b>
3.8.1. Peligro Sísmico .....	112
3.8.2. Vulnerabilidad Sísmica.....	121
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. RESULTADOS.....</b>	<b>163</b>
4.1.1. Amenaza sísmica .....	163
4.1.2. Modelos de Velocidad de Onda de Corte .....	163
4.1.3. Clasificación de sitio.....	163
4.1.4. Respuesta sísmica de sitio.....	164
4.1.5. Características patológicas de la muestra .....	166
4.1.6. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica .....	170
4.1.7. Evaluación del Riesgo Sísmica.....	173
<b>4.2. DISCUSIÓN.....</b>	<b>174</b>
<b>4.3. PROPUESTAS DE REFORZAMIENTO DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA.....</b>	<b>176</b>
4.3.1. Resumen ejecutivo .....	176
4.3.2. Recomendaciones y Propuestas técnica de reforzamiento .....	177
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>194</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>195</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>197</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>205</b>

**ÁREA: Estructuras**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Análisis y Diseño Estructural.**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 junio de 2022**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Movimiento de placas y generación de sismos. Mecanismo de subducción .....	30
<b>Figura 2.</b>	Modelo de Propagación de ondas P.....	32
<b>Figura 3.</b>	Modelo de propagación de ondas S.....	33
<b>Figura 4.</b>	Modelo de propagación de ondas Rayleigh.....	33
<b>Figura 5.</b>	Modelo de propagación de ondas love .....	34
<b>Figura 6.</b>	Transmisión de la onda sísmica en diferentes tipos de estratos de suelo A) Suelos blandos, B) Roca.....	37
<b>Figura 7.</b>	Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos.....	51
<b>Figura 8.</b>	Métodos aplicados al estudio de efecto de sitio .....	60
<b>Figura 9.</b>	Espectro de Respuesta.....	61
<b>Figura 10.</b>	Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural de Edificaciones ..	66
<b>Figura 11.</b>	Los componente para la evaluación de Riesgo sísmico y las opciones para el procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad.....	67
<b>Figura 12.</b>	Curvas de vulnerabilidad para pórticos de concreto armado utilizando el PSI y MSK .....	73
<b>Figura 13.</b>	Diagrama de flujo para describir los componentes del cálculo de las curvas analíticas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño .....	75
<b>Figura 14.</b>	MEC para determinar el punto de capacidad por demanda.....	77
<b>Figura 15.</b>	Modelo simplificado para un sistema SDOF equivalente .....	78
<b>Figura 16.</b>	Respuesta distribuida al daño/balanceo de vigas (izquierda) y de piso blando/balanceo de columnas (derecha).....	78
<b>Figura 17.</b>	Formas deformadas para diferentes estados límite y modos de falla en el plano .....	78
<b>Figura 18.</b>	Fragmento de Datos Estadísticos de las Viviendas de la Urbanización Enace Puno Centro Poblado de Salcedo Fuente: propia .....	86



<b>Figura 19.</b>	Ámbito de estudio.....	88
<b>Figura 20.</b>	Charcos de agua a causa de las precipitaciones pluviales .....	98
<b>Figura 21.</b>	Se observa el deterioro de las unidades de albañilería debido a las precipitaciones pluviales.....	99
<b>Figura 22.</b>	Mapa de isosistas del sismo del 23 de junio 2001- Atico.....	101
<b>Figura 23.</b>	Mapa de distribución de Máximas intensidades Sísmicas.....	102
<b>Figura 24.</b>	Ficha de Encuesta .....	105
<b>Figura 25.</b>	Ficha de Reporte .....	106
<b>Figura 26.</b>	Hoja de Clasificación de edificaciones según sus características.....	107
<b>Figura 27.</b>	Junta de más de 2.5 mm. ....	108
<b>Figura 28.</b>	Ladrillos mal aparejados y diferente tipo de ladrillo.....	109
<b>Figura 29.</b>	Toma de resistencia a columna.....	111
<b>Figura 30.</b>	Cuadrilla para el esclerómetro min de 10 puntos en una columna .....	111
<b>Figura 31.</b>	Evaluación de velocidades de onda de corte en Microsoft Excel 2016... ..	113
<b>Figura 32.</b>	Modelos de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) encontrados .....	116
<b>Figura 33.</b>	Interface gráfica del software DEEPSOIL. Se introducen los parámetros del análisis. ....	117
<b>Figura 34.</b>	Interface gráfica de DEEPSOIL. Se insertan las características de la estratigrafía del sitio. ....	118
<b>Figura 35.</b>	Características y propiedades del basamento .....	119
<b>Figura 36.</b>	Selección de registro sísmico .....	119
<b>Figura 37.</b>	Determinación de curvas dinámicas de los suelos .....	120
<b>Figura 38:</b>	Modos de falla global .....	123
<b>Figura 39.</b>	Procedimiento de la Actividad .....	129
<b>Figura 40.</b>	Fotografía de la fachada de la vivienda N° 5 en análisis (propietaria Teresa Guana Larico) el día 07/10/19, Mz. E Lote 23 jr. Los Rosales, CP salcedo, Puno .....	133



<b>Figura 41.</b>	Aporticado .....	133
<b>Figura 42.</b>	Fotografía de la fachada de la vivienda N° 1 en análisis (propietario Luis Pacheco Quispe) 22/09/19, Mz. D Lote 08 jr. Los Cipreces, CP salcedo, Puno.....	134
<b>Figura 43.</b>	Albañilería Confinada.....	134
<b>Figura 44.</b>	Muro de ladrillos Pandereta artesanal, de $f'm = 35 \text{ Kg/cm}^2$ . .....	136
<b>Figura 45.</b>	Elementos de concreto armado, de $f'c = 130 \text{ Kg/cm}^2$ . .....	136
<b>Figura 46.</b>	Vista en planta de la Edificación típica .....	137
<b>Figura 47.</b>	Elevación de la edificación típica.....	137
<b>Figura 48.</b>	Proceso de Análisis.....	139
<b>Figura 49.</b>	Análisis sísmico estático no lineal.....	146
<b>Figura 50.</b>	Desplazamiento Máximo .....	147
<b>Figura 51.</b>	Desplazamiento Máximo de 2 niveles.....	148
<b>Figura 52.</b>	Grafica para medir el grado de vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas .....	149
<b>Figura 53.</b>	Grado modelo vs densidad de muros (porcentaje) en X.....	161
<b>Figura 54.</b>	Grado modelo vs densidad de muros (porcentaje) en Y.....	161
<b>Figura 55.</b>	Reporte de resultados para los propietarios. Formato UPAO 2014 .....	162
<b>Figura 56.</b>	Espectros de respuesta en relación de la aceleración. ....	165
<b>Figura 57.</b>	Comparación de espectros suavizados de la respuesta de sitio con el Espectro de diseño de la E030.....	166
<b>Figura 58.</b>	Se observa muros en un solo eje.....	167
<b>Figura 59.</b>	Parapetos no arriostrados.....	167
<b>Figura 60.</b>	Desnivel de pisos y no existe junta sísmica entre viviendas .....	168
<b>Figura 61.</b>	Vivienda de dos niveles con ladrillo Pandereta.....	169
<b>Figura 62.</b>	Columnas con cangrejas .....	169
<b>Figura 63.</b>	Fierro descubierto y corroído de la losa del techo.....	170



<b>Figura 64.</b> Vulnerabilidad General para edificaciones de concreto Armado y Albañilería .....	171
<b>Figura 65.</b> Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.....	179
<b>Figura 66.</b> Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.....	180
<b>Figura 67.</b> Reforzamiento con bandas de refuerzo. ....	181
<b>Figura 68.</b> Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera .....	182
<b>Figura 69.</b> Detalle de reforzamiento de zapata para columna.....	183
<b>Figura 70.</b> Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.....	184
<b>Figura 71.</b> Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.....	184



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Daños para la Escala Macrosísmica Europea [EMS, 1998].	46
<b>Tabla 2.</b>	Corrección por confinamiento de N campo	51
<b>Tabla 3.</b>	Valores de $\eta_1$ según el tipo de martillo y procedimiento utilizado en la prueba.	52
<b>Tabla 4.</b>	Correlaciones empíricas N-Vs para distintos tipos de suelos	54
<b>Tabla 5.</b>	Clasificación de sitio según FEMA 450	54
<b>Tabla 6.</b>	Clasificación del Terreno	56
<b>Tabla 7.</b>	Clasificación del Terreno(continuación)	57
<b>Tabla 8.</b>	Clasificación de sitio	57
<b>Tabla 9.</b>	Clasificación de sitio según USGS	58
<b>Tabla 10.</b>	Clasificación de suelos (MTI, 2007)	58
<b>Tabla 11.</b>	Clasificación de los perfiles de Suelo (E030)	58
<b>Tabla 12.</b>	Formato de Matriz de Probabilidad de Daños Propuesta por Whitman et al.(1973):	70
<b>Tabla 13.</b>	Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de albañilería confinada	71
<b>Tabla 14.</b>	Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de concreto armado	71
<b>Tabla 15.</b>	Resistencia de Albañilería (numeral 13.9 NTE E. 0.70)	79
<b>Tabla 16.</b>	Características del material de Albañilería Confinada	80
<b>Tabla 17.</b>	Características del material de Concreto	81
<b>Tabla 18.</b>	Características del material de Acero de Refuerzo - Grado 60	81
<b>Tabla 19.</b>	Material de construcción predominante en las paredes, techos y pisos del Distrito de Puno	85
<b>Tabla 20.</b>	Operacionalización de variables	90
<b>Tabla 21.</b>	Total de predios urbanos con áreas constructivas de 2, 3 4 pisos	91



<b>Tabla 22.</b> Valor del Margen de Confiabilidad. ....	92
<b>Tabla 23.</b> Cuantificación de viviendas por número de pisos. ....	94
<b>Tabla 24.</b> Datos Macrosísmicos de la Región Puno y Alrededores .....	100
<b>Tabla 25.</b> Calidad de juntas de adherencia con el mortero .....	108
<b>Tabla 26.</b> Calidad y Disposición de las unidades de Albañilería.....	109
<b>Tabla 27.</b> Valores del esclerómetro para el ensayo.....	110
<b>Tabla 28.</b> Correlaciones empíricas usadas en este estudio para evaluar Vs en función de Ngolpe del SPT .....	113
<b>Tabla 29.</b> Descripción de sismos utilizados en la evaluación de la respuesta sísmica de sitio.....	116
<b>Tabla 30.</b> Características de los elementos estructurales de las viviendas encuestadas .....	130
<b>Tabla 31.</b> Características de las edificaciones típicas en el Sector. ....	132
<b>Tabla 32.</b> Espectro de Aceleración para un $Z=0.10g$ , T en (s) .....	140
<b>Tabla 33.</b> Espectro de respuesta para $Z=0.25$ , T en (s).....	140
<b>Tabla 34.</b> Espectro de Respuesta para $u Z=0.35g$ , T en (s).....	141
<b>Tabla 35.</b> Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando un muro perimétrico.....	141
<b>Tabla 36.</b> Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando solo Pórticos.....	142
<b>Tabla 37.</b> Reacciones en los apoyos de la Edificación de 2 niveles .....	142
<b>Tabla 38.</b> Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando un muro perimétrico.....	143
<b>Tabla 39.</b> Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando solo Pórticos.....	144
<b>Tabla 40.</b> Reacciones en los apoyos para la Edificación de 2 niveles .....	144
<b>Tabla 41.</b> Resultados considerando un muro perimétrico de 2 niveles.....	145
<b>Tabla 42.</b> Resumen de resultados considerando solo pórticos.....	145



<b>Tabla 43.</b> Desplazamiento máximos 15 columnas de 2 niveles.....	147
<b>Tabla 44.</b> Desplazamiento máximos 18 columnas de 2 niveles.....	147
<b>Tabla 45.</b> Resumen de análisis Lineal de 15 y 18 columnas.....	148
<b>Tabla 46.</b> Variables para la Evaluación y Factores de Vulnerabilidad .....	148
<b>Tabla 47:</b> Factores de vulnerabilidad en función del grado .....	149
<b>Tabla 48.</b> Espectro de respuesta para albañilería, $Z=0.10g$ , T en (s).....	150
<b>Tabla 49:</b> Espectro de Respuesta para albañilería, $Z=0.25g$ , T en (s).....	150
<b>Tabla 50.</b> Espectro de Respuesta para albañilería, $Z=0.35g$ , T en (s).....	150
<b>Tabla 51.</b> Análisis de las densidades de muros máxima, mínima y promedio de las estructuras .....	151
<b>Tabla 52.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 4 niveles con valores inferiores de densidad de muros .....	152
<b>Tabla 53.</b> Control de agrietamiento y efectos de los diferentes tipo de sismos que lo provocan, vivienda de 4 niveles inferior.....	152
<b>Tabla 54.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores inferiores de densidad de muros .....	153
<b>Tabla 55.</b> Control de agrietamiento y efectos de los diferentes tipo de sismos que lo provocan, vivienda de 3 niveles inferior.....	153
<b>Tabla 56.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 2 niveles con valores medios y bajos de densidad de muros .....	154
<b>Tabla 57.</b> Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 2 pisos medios y bajos .....	154
<b>Tabla 58.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores medios de densidad de muros.....	155
<b>Tabla 59.</b> Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 3 pisos medio .....	155
<b>Tabla 60.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 2 niveles con valores medios de densidad de muros .....	156



<b>Tabla 61.</b> Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 2 pisos medio. ....	156
<b>Tabla 62.</b> Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores Superiores de densidad de muros.....	157
<b>Tabla 63.</b> Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 3 pisos superiores. ....	157
<b>Tabla 64.</b> Resumen de las pruebas estructurales en albañilería Confinada .....	158
<b>Tabla 65.</b> Calificación y Determinación de grados de vulnerabilidad de cada modelo .....	158
<b>Tabla 66.</b> Densidad de muros y modelos de los que salieron. ....	160
<b>Tabla 67.</b> Aporte a la vulnerabilidad general, por parte de las edificaciones de concreto Armado .....	172
<b>Tabla 68.</b> Aporte a la vulnerabilidad general, por parte de las edificaciones de Albañilería Confinada.....	172
<b>Tabla 69.</b> Matriz de doble entrada para el cálculo del riesgo sísmico .....	174



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- INDECI:** Instituto Nacional de Defensa Civil
- IGP:** Instituto Geofísico del Perú
- SPT:** Prueba de penetración Estándar
- RNE:** Reglamento Nacional de Edificaciones
- NTP:** Norma Técnica Peruana
- UTM:** Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
- GIS:** Sistema de Información Geográfica
- ML:** Magnitud Local
- MS:** Magnitud de ondas Superficiales
- Mw:** Magnitud de Momento Sísmico
- Vs:** Velocidad de Onda Superficiales
- Ts:** Periodo fundamental del Suelo
- CPT:** Cone Penetration Test
- NSPT:** Numero de Golpes del Ensayo de Penetración Estándar
- ASTM:** American Society for Testing and Materials
- NCES:** Norma de construcción Sismoresistente de España
- RNC:** Reglamento Nacional de Construcción.
- MNB:** Hospital Manuel Nuñez Butron
- PGA:** Aceleración máxima del suelo



## RESUMEN

La simulación numérica en Escenarios sísmicos de edificaciones de concreto Armado (Aporticado) y Albañilería nos ayuda a estimar la vulnerabilidad y peligro sísmico, esto es necesario para la reducción del riesgo sísmico. Se optó realizar el estudio en la Zona de la Urbanización Enace ubicada al sur de Puno, por el gran crecimiento extemporáneo de construcciones autoconstruidas sin asesoramiento técnico, en el que predominan las edificaciones de albañilería. Sabemos que Puno se encuentra en una Zona sísmica 2 y 3 ( Norma E030, 2018) con sismicidad moderada, por lo cual ante un escenario sísmico puede ocasionar el colapso de las estructuras, causando pérdidas de vidas y económicas. En esta investigación se estima la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de viviendas de concreto armado y albañilería; considerando 09 edificaciones representativas de la Urbanización. Para evaluar la vulnerabilidad se aplicará el método híbrido, usando previamente las fichas técnicas para recolectar y procesar los datos adquiridos en las visitas a las viviendas, luego realizar la modelación numérica mediante el software ETABS y así estimar si durante un sismo estas colapsen. Para estimar el peligro sísmico se obtiene la respuesta sísmica de sitio, teniendo en cuenta los registros SPT, mediante el software DEEPSOIL.. En este trabajo de investigación, se emprende la tarea de simular numéricamente con el propósito de ayudar, a interpretar la información y la dinámica de las edificaciones de Concreto Armado y albañilería. Del análisis cualitativo y cuantitativo se considera que la vulnerabilidad sísmica es ALTA con 56% en este tipo de edificaciones; teniendo en cuenta el escenario sísmico, el peligro sísmico esperado es MEDIO con 43%. Por lo tanto, se obtiene un riesgo sísmico ALTO.

**Palabras Clave :** Edificaciones, Peligro, Simulaciones, Vulnerabilidad.



## ABSTRACT

Numerical simulation in Seismic Scenarios of Reinforced Concrete (Aporticado) and Masonry buildings helps us to estimate seismic vulnerability and danger, this is necessary for the deduction of seismic risk, even in areas of low or moderate seismicity. It is decided to carry out the seismic risk study in the Enace Urbanization Zone located south of the city of Puno, due to the large extemporaneous growth of self-built constructions without technical and/or professional advice, in which masonry buildings predominate. We know that Puno is located in seismic Zone 2 and 3 (Standard E030, 2018) with moderate seismicity, which is why in a seismic scenario it can cause the collapse of structures, causing innumerable loss of life and economics. In this research, the vulnerability, danger and seismic risk of masonry houses are estimated; considering 09 representative buildings of the Enace-Puno Urbanization, for the numerical simulation of seismic scenarios. To carry out the study, the damage matrix method is used, previously using technical sheets that collect and process the information obtained from the visits made to the homes, for the numerical simulation of the buildings, which will be processed using the ETABS software and thus estimate if during an earthquake these collapse. To estimate the seismic hazard, the seismic response of the site is obtained, from the processing of SPT records and the equivalent linear analysis was processed, using the DEEPSOIL V7.0 software, in this way the elastic response spectra were obtained. In this research work, the task of numerical simulation is undertaken in order to help interpret the information and dynamics of reinforced concrete and masonry buildings. From the qualitative and quantitative analysis it is considered that the seismic vulnerability is HIGH with 56% in this type of buildings; Taking into account the seismic scenario, the expected seismic hazard is MEDIUM with 43%. Therefore, a HIGH seismic risk is obtained.

Keywords: Buildings, Danger, Simulations, Vulnerability.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El Perú es considerado un país sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Es así que, la actividad sísmica está relacionada con la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana y se derivan del rozamiento de ambas placas que producen los sismos de mayor magnitud con frecuencia relativa y por deformación interna en ambas placas, siendo los sismos más destructivos los que se producen a niveles superficiales (IGP , 2014). El proceso de ocurrencia de un desastre tiene dos componentes simultáneos (tiempo - lugar); uno es el sitio, con su riesgo inherente, y el otro es el ambiente construido sobre este sitio, incluyendo todas las relaciones y actividades de los asentamientos urbanos y su susceptibilidad intrínseca a ser amenazados por peligros naturales. Este grado de amenaza se define como vulnerabilidad.

La investigación se desarrolló de forma directa en el Área Urbana bajo estudio (Enace Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Programa Munic. De Vivienda – Salcedo, Enace Villa los Pinos, Enace Virgen las Mercedes), ubicado en la ciudad de Puno.

Con el paso de los años la población puneña ha incrementado de manera descontrolada, con un incremento de un 24% aproximadamente entre los años 2007 a 2017 (INEI, 2018), en consecuencia ocasiono un crecimiento sin control ni con planificación urbana. En el centro poblado Salcedo se identificó un desarrollo urbano con baja planificación. Gran parte de las viviendas de la Urbanización Enace Salcedo, no tienen un diseño sísmico resistente a causa de la autoconstrucción que existe por los propietarios, esto ocurre generalmente por la falta de economía y por la falta de información de la formalización de construcción. Por tanto, aumenta la vulnerabilidad



sísmica, frente a un evento sísmico generando colapso estructural y pérdidas de vidas humanas.

Analizaremos el caso del Centro Poblado de Salcedo; donde se observaron las características de las edificaciones, como el tipo de sistema estructural, unidad de ladrillo, juntas, materiales, etc., también se desarrolló una encuesta a los dueños de las viviendas para evaluar el autoconstrucción; observando la falta de asistencia técnica.

El principal problema con la mayoría de estas viviendas es que tienen problemas estructurales y son vulnerables a eventos sísmicos. La ciudad de Puno pertenece a la zona 2 y 3, de media a moderada sismicidad ( Norma E030, 2018); en consecuencia, es necesario evaluar el riesgo sísmico de las viviendas, con la mayor precisión posible, los efectos nocivos de ciertos terremotos en el entorno construido y sus consecuencias. Es decir, el *daño* generado sobre las estructuras, entendiendo por daño el proceso de degradación física que sufre una estructura al ser sometida a un determinado evento sísmico; y las posibles lesiones sufridas por los habitantes. El daño es la clave para comprender el impacto real, sin embargo, no es una tarea sencilla, que requiere de modelos especiales (numéricos y experimentales) para una predicción precisa del comportamiento de suelos y edificios,

En realidad, el modelado de estructuras se limita al marco, es decir, a los elementos estructurales que componen la obra civil; los análisis del conjunto, incluidos todos los elementos no estructurales, se realizan a través de fórmulas empíricas disponibles a partir de patrones de daños observados previamente en las construcciones. En el proceso de diseño, la mayoría de las veces se aplican simplificaciones de la entrada y linealización de la respuesta, debido a la falta de datos precisos para la sismicidad y el alto costo que implica el modelado detallado no lineal de estructuras.

Entonces abarcamos una muestra representativa, una Urbanización así los datos tendrán más veracidad. Se estima el nivel de riesgo sísmico de las viviendas de la Urbanización Enace – Puno, evaluando una muestra representativa de nueve (09) viviendas.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al identificar que la ciudad de Puno está experimentando un rápido crecimiento de infraestructura y se encuentra en una zona moderada sismicidad de Perú. Es importante tener conocimiento sobre el peligro sísmico, esto nos ayudará a analizar la resistencia de las edificaciones durante un evento sismo, así reducir la ocurrencia de daños severos durante un escenario sísmico.

Observando las tendencias de los desastres sísmicos y su impacto en las últimas décadas se muestran en la Tabla 1 (los sismos contabilizados con magnitudes mayores a  $M = 6.0$ ), es evidente cómo el número de sismos, aunque aumentando desde la década de 1990 a la década del 2000 en alrededor de un 50%, el número de personas fallecidas supera el doble de la cifra de la última década.

**Tabla 1.** Distribucion de sismos y mortalidad del año 1999 al 2020, según [USGS,2020]

1990-1999		2000-2020	
Numero de terremotos	Número de Muertos	Numero de terremotos	Número de Muertos
1,486	196,782	3422	1 459,562

El aumento de la vulnerabilidad es un problema importante en los lugares en desarrollo, donde la concentración y el crecimiento de la población en las áreas urbanas esta mayormente descontrolado y el estado físico de las edificaciones son deficientes, en su mayoría edificaciones informales sin ingeniería que no consideran ningún código



(diseño sismoresistente), y construidas sobre sitios muy peligrosos como los espacios urbanos que quedan sin ocupación debido a pendientes altas, suelos blandos, peligro de deslizamientos, proximidad a ríos, etc. Esto configura áreas propensas a desastres sísmicos, que en muchos casos contienen grandes porcentajes de la población total de una ciudad, o incluso de todo un país. (Laucata, 2013) .

Los diferentes sismos que se han originado durante las últimas décadas, que ante la presencia de escenarios sísmicos las edificaciones colapsan, ocasionando pérdidas de vidas humanas y materiales, por eso la necesidad de estimar la amenaza sísmica y la vulnerabilidad para determinar si las viviendas futuras son confiables para dicho suelo, con el objetivo de tener una evaluación acorde a la realidad y tener un menor incertidumbre en cuanto al comportamiento de las edificaciones durante un evento sísmico.

Los Análisis de Riesgo Sísmico requieren gran cantidad de información de alta calidad proveniente de las evaluaciones de peligro sísmico y vulnerabilidad sísmica, que configuran conjuntos de datos para las diferentes descripciones del sitio (pertinente al peligro sísmico) y del entorno construido (pertinente a la vulnerabilidad sísmica). En estos conjuntos de datos se deben realizar tratamientos y operaciones, con la posibilidad de visualizar los datos de diferentes maneras.

El lugar de estudio la Urbanización Enace del Centro Poblado de Salcedo Puno, con el pasar de los años la población aumentó, de manera descontrolada, lo cual generó un crecimiento poco controlado y planificado en la construcción de nuevas edificaciones, de tal manera se pretende conocer el grado de Riesgo sísmico para contribuir en las proyecciones de edificaciones futuras.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será el riesgo sísmico de las edificaciones de albañilería de la “Urbanización Enace” Puno simulados numéricamente en escenarios sísmicos?

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

Se estima que el riesgo sísmico es Alta con un 53% en edificaciones de Concreto Armado y albañilería de la “Urbanización Enace”- Puno, simulados numéricamente en escenarios sísmicos.

### **1.3.2. Hipótesis general**

- Se estima que el peligro sísmico, es Media con un 43%, en las edificaciones de Concreto Armado y albañilería simulados numéricamente en escenarios sísmicos.
- Se estima que la vulnerabilidad sísmica encontrada es Alta con un 56% en las edificaciones de Concreto Armado y albañilería simulados numéricamente en diferentes escenarios sísmicos.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido a la sismicidad de Perú, las edificaciones deben de ser diseñadas para resistir fuerzas generadas por un escenario sísmico. Para determinar un diseño sísmo resistente se debe conocer la ubicación, características sísmicas del suelo y la respuesta de un escenario sísmico.

La ciudad de Puno se encuentra ubicada en una Zona de moderada sismicidad de acuerdo a ( Norma E030, 2018), sus edificaciones en su mayoría tienen una antigüedad de 20 años, por lo tanto, fueron construidas con un reglamento antiguo. Las edificaciones



autoconstruidas de la Urbanización Enace- Puno, no tienen un buen comportamiento sísmico, es por ello que esta investigación pretende cumplir con las tres funciones de la ciencia describir el estado actual de las edificaciones, explicar los errores que se cometen en su proceso constructivo y predecir su comportamiento ante un sismo. Para cumplir con ello es necesario determinar, la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico al que están expuestas. La utilización de las fichas técnicas es indispensable para cuantificar los daños y fallas estructurales y arquitectónicas de las viviendas.

En la urbanización Enace - Puno se encuentran viviendas construidas con el criterio de sistemas de concreto armado y de albañilería confinada en las cuales no se ha tenido el asesoramiento profesional necesario para que dichas viviendas se encuentren seguras ante un peligro sísmica.

La presente investigación contribuye a conocer la amenaza sísmica y vulnerabilidad de las viviendas de concreto. Lo importante es que estos resultados que se obtendrá durante la investigación ayudará a recomendar e informar a los propietarios sobre su vivienda y prevenir un desastre.

### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se presentaron varias limitaciones que se han encontrado durante el desarrollo del estudio.

- La investigación se realizó con registros de SPT tomados de la base de datos Gobierno Regional Puno, (Zapana, 2012) y (Colorado & Inca, 2010); porque no se tuvo alcance al ensayo SPT, teniendo en cuenta que la información de estos registros de suelo es de profundidad superficial.
- La identificación del peligro sísmica usando SPT para determinar las velocidades de onda de corte, existe limitaciones mayores, por la poca información sobre las



fórmulas de correlaciones empíricas que se hayan utilizado en investigaciones anteriores, para determinar las características geológicas de los sitios.

- El análisis de la vulnerabilidad sísmica fue por el criterio de cantidad de columnas, área construida y área techada en viviendas de concreto armado; y por criterio de densidad de muros en viviendas de albañilería, observación directa de la calidad de la construcción.
- Acceso a todas las viviendas, se presentaron propietarios que no permitían acceso a su vivienda, por motivos de falta de información y miedo a personas desconocidas.
- La determinación del riesgo sísmico es solo un estimativo, no se procura mostrar la realidad total sobre las condiciones en las que se sitúa cada una de las viviendas.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar el nivel de riesgo sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de Concreto Armado y Albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el nivel de peligro sísmico ante un evento sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de concreto armado y albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno
- Evaluar el grado vulnerabilidad sísmica ante un evento sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de concreto armado y albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

(Arevalo, 2020), en su tesis titulada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres”. Su objetivo principal es Estimar el nivel que existe de la vulnerabilidad sísmica en viviendas construidas de manera informal, de acuerdo al reglamento se debe encontrar las principales diferencias sísmicas entre los tipos de construcción según los sectores económicos de la población, se llegó a la Conclusión considerando la densidad de muros se encuentran mal distribuidos. En un eje no cumple con lo requerido en la norma, mientras que en el otro sentido existe deficiencia en densidad de muros, identificando que frente a un sismo severo su colapso sea por volteo.

(Barrueta, 2019), en su tesis titulada “Análisis sísmico comparativo entre los sistemas de concreto armado y albañilería confinada para la construcción de un edificio de viviendas multifamiliares del distrito de Surquillo”. En la Pontificia Universidad Católica del Perú. Su objetivo principal es analizar la comparación de los sistemas estructurales de concreto armado y albañilería, Conclusión se identifica a la edificación hecha con solo elementos de concreto armado es más rígida ya que tiene menor periodo que la edificación mixta que posee elementos de albañilería confinada.

(Rojas, 2015), en su Tesis titulada “Curvas de Fragilidad sísmica para edificios aporticados de concreto reforzado en poca altura”. En la Universidad Central de Venezuela. Su objetivo es elaborar curvas de fragilidad sísmica para edificaciones aporticados de concreto reforzado de poca altura, de 1 a 3 niveles a través de la normativa



de diseño sismorresistente de Venezuela, para varias aceleraciones máximas del suelo (PGA) vinculado a estados de daño (leve, moderado, severa y completo). Llegando a la conclusión de que las edificaciones diseñadas con la norma antigua tienen alta vulnerabilidad que las edificaciones diseñadas con la norma actual, lo cual genera daños y niveles de riesgo sísmico mayores.

(Chevarría, 2014), en su tesis titulada “Análisis y Diseño Estructural sismo resistente por el método de Elementos Finitos: Pabellón de aulas I.E.S. Charamaya – Mañazo”, Con el objetivo de verificar la realización de la funcionalidad y seguridad estructural con las condiciones de la normativa vigente establecida en el RNE, llegando a la conclusión que las edificaciones de la institución antes mencionada si tiene seguridad estructural necesaria para resistir intensidades sísmicas existentes en la Zona.

(Laucata, 2013), en su tesis titulada “Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo”. En la Pontificia Universidad Católica del Perú. Su objetivo Principal es disminuir la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de albañilería en el Perú y presentar una solución para mitigar el riesgo sísmico de las viviendas informales de albañilería confinada; llegando a la conclusión de que la vulnerabilidad de las 30 viviendas encuestadas en Trujillo, es alta con un 83%, y tan sólo un 7% tiene baja vulnerabilidad. El Peligro es medio con un 83% de las viviendas, y el resto tiene un alto peligro. Finalmente, el riesgo es alto con un 87%, y la diferencia tiene un riesgo medio. No resultando ninguna vivienda con riesgo bajo. Los resultados obtenidos van de la mano con la densidad de muros, que es uno de los factores más incidentes.

(Lantada, 2007) en su tesis titulada “Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS aplicándolo a la ciudad de Barcelona”, Su objetivo principal es estimar el riesgo sísmico. Llegando a la conclusión las viviendas de



albañilería con altura considerable son los que sufren mayor daño ante un sismo mientras que con altura baja sufren menos daño que los edificios de concreto armado de la misma clase. Por último afirma que la vulnerabilidad de las edificaciones de Barcelona está entre moderada y alta.

(Tafur & Narro, 2006) realizaron un estudio de la vulnerabilidad de viviendas en la ciudad de Cajamarca, llegando a la conclusión: La vulnerabilidad sísmica es alta con un 69%, vulnerabilidad media el 19% y una vulnerabilidad baja el 12%. Mientras que en viviendas de adobe el 96 % tienen vulnerabilidad sísmica alta y el 4% una vulnerabilidad sísmica baja. Las viviendas de albañilería confinada tienen un 74.14 % de vulnerabilidad alta, el 12.07% vulnerabilidad media y el 13.79% vulnerabilidad baja. También se determinó que existe peligro sísmico alto de 41 %, peligro sísmico medio de 59%”.

(Mosqueira & Tarque, 2005), En las ciudades de la costa del Perú (Chiclayo, Trujillo, Lima, etc) los datos son alarmantes, puesto que las viviendas analizadas el 84% tienen riesgo sísmico alto y el 16% tienen riesgo sísmico medio. Por tanto, se concluye que las viviendas informales son inseguras y al presentar un sismo severo casi todas sufrirían daños importantes (aceleración máxima de 0,4g). Ante esta situación, es necesario el planteamiento de investigaciones futuras que contribuyan a mitigar el riesgo sísmico en las viviendas informales.

(Mosqueira & Tarque, 2005), en su tesis titula “Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana”. En la Pontificia Universidad Católica del Perú. Su objetivo principal es contribuir a la reducción del riesgo sísmico de las viviendas de albañilería confinada construidas informalmente en la costa del país. Llegando a la conclusión: El 72% de las viviendas evaluadas presenta vulnerabilidad sísmica alta, el 18 % vulnerabilidad sísmica media y los 10% presentan una vulnerabilidad sísmica baja. Además de la vivienda informales



estudiadas el 40% tiene peligro sísmico alto y los 60% tienen peligro sísmico medio. Entonces las edificaciones informales evaluadas de la costa peruana tienen riesgo sísmico, debido a su autoconstrucción por los mismos pobladores, albañiles o maestros de obra y por la mala situación económica.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Tectónica de placas como fuente de eventos sísmicos**

Los sismos (eventos sísmicos) pueden definirse como movimientos caóticos de la corteza terrestre caracterizados por una dependencia temporal de amplitudes y frecuencias.

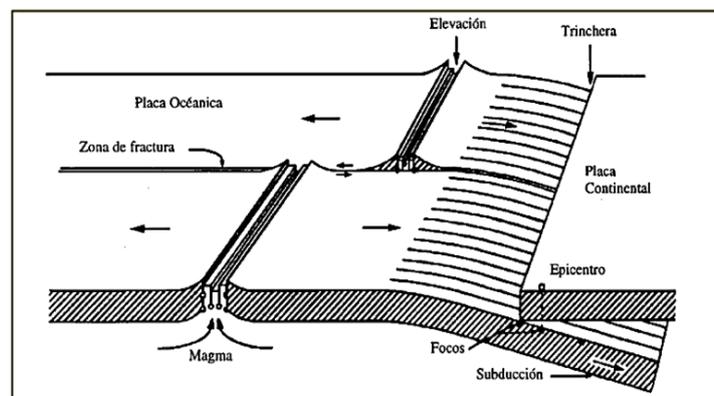
La generación de terremotos se puede clasificar, dependiendo de la fuente de la naturaleza, en cuatro tipos generales:

- Terremotos tectónicos: causados por la ruptura de rocas en respuesta a esfuerzos tectónicos de las placas en zonas activas, donde una placa en movimiento anula a otra, fricciona longitudinalmente a través del margen de placa con otro o converge con otro, definiendo una falla. Estos terremotos son los más fuertes y los más frecuentes.
- Terremotos volcánicos: las erupciones volcánicas asocian eventos sísmicos, no solo por el mismo origen tectónico para ambos, sino también debido a explosiones de gas durante la erupción. Generalmente produce movimientos de pequeña intensidad sobre superficies limitadas.
- Terremotos de derrumbe: originados por derrumbe de cavidades subterráneas y caracterizados por una intensidad baja.

Los movimientos de las placas, como se explicó anteriormente, son la fuente de la mayoría de los eventos sísmicos en el mundo y dependen de cómo las placas tectónicas se mueven e interactúan entre sí. Las superficies de contacto entre placas se definen como

fallas. La generación de terremotos se localiza en el interior de las fallas, donde se acumulan esfuerzos en algunas partes de esta zona (barreras, asperezas) hasta alcanzar la capacidad máxima de los materiales de la corteza. En esta etapa, la liberación instantánea de energía se produce a través de la fractura que genera fuerzas-liberación, es decir, movimientos instantáneos en la falla.

Las fallas pueden interactuar de tres maneras diferentes, generando en consecuencia diferentes tipos de terremotos:



**Figura 1.** Movimiento de placas y generación de sismos. Mecanismo de subducción

FUENTE: (Bazán & Meli, 1985)

- Fallas compresivas: también definidas como fallas convergentes, la superficie de contacto se tensa por compresión debido a que las placas se mueven una debajo de la otra, levantando una parte de la misma placa superior. Este movimiento se llama *subducción*; puede generar sismos superficiales o profundos de gran potencia, habiendo superado la magnitud 9,0 Richter en Alaska (28 de marzo de 1964) y en Chile (22 de mayo de 1964) zonas de subducción.
- Fallas extensionales: también llamadas divergentes, los esfuerzos son extensionales, separando bloques tectónicos y produciendo movimientos



descendientes a través del plano de falla, inclinado en uno de los bloques, hundiéndose relativamente con el otro. Los terremotos son superficiales y alineados sobre el eje de expansión, con magnitudes bajas.

- Fallas transformantes: también definidas como fallas de rumbo, las placas en su mayoría se deslizan entre sí lateralmente (movimiento de rumbo), produciendo menos hundimiento o levantamiento del suelo que las fallas de extensión o compresión. Los terremotos suelen ser superficiales y su magnitud depende en gran medida del tectónico local de la zona, siendo posibles grandes terremotos extensionales cuando la falla cambia de dirección.

### **2.2.2. Ondas sísmicas.**

Durante un sismo la energía es liberada por la expansión de diferentes tipos de ondas que viajan desde la zona de ruptura hasta la corteza terrestre causando que la corteza vibre (Bazán & Meli, 1985). Las ondas sísmicas son causadas por el movimiento repentino de materiales dentro de la Tierra, como el deslizamiento a lo largo de una falla durante un terremoto. Las erupciones volcánicas, las explosiones, los deslizamientos de tierra, las avalanchas e incluso los ríos caudalosos pueden causar ondas sísmicas. Las ondas sísmicas viajan a través y alrededor de la Tierra y se pueden registrar con sismómetros.

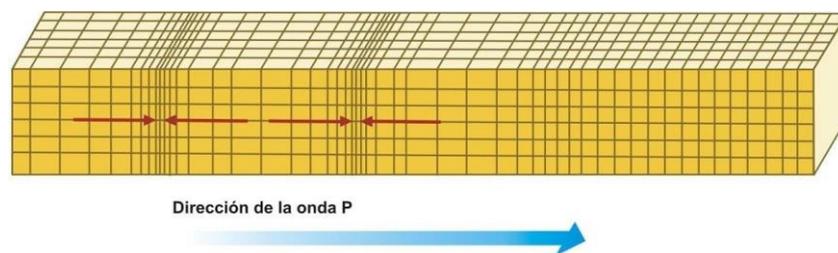
Las ondas sísmicas se propagan mediante dos tipos de ondas: las ondas corporales y las ondas superficiales.

#### **2.2.2.1. Ondas corporales**

Las ondas corporales recorren grandes trayectos, las que viajan más rápido por medio de las rocas, en el interior de la tierra, y su amplitud disminuye a medida que aumenta la distancia con respecto al foco (Bazán & Meli, 1985). Y pueden ser:

## Ondas P

Las ondas P se caracterizan por el aglutinamiento o enrarecimiento de las partículas del medio transmisor a lo largo de la trayectoria ondulatorio. En la región epicentral el periodo dominante de las ondas P es inferior a un segundo, mientras que a mayor distancia se presenta un incremento moderado en el periodo dominante debido al rápido debilitamiento de las ondas de alta frecuencia. Es natural que el tipo de esfuerzos derivados de las ondas P sea axial.

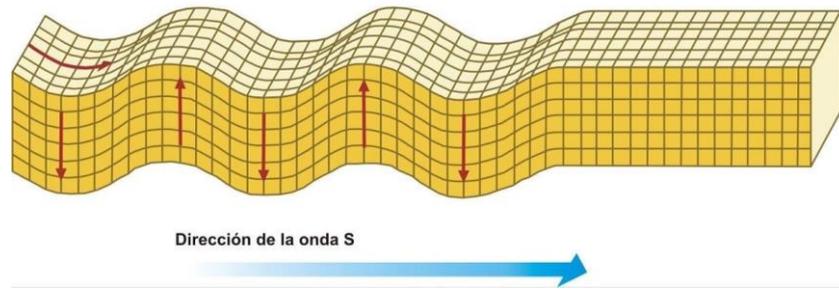


*Figura 2: Modelo de Propagación de ondas P*

FUENTE: (<https://www.meteorologiaenred.com/ondas-sismicas.html>)

## Ondas S

Las ondas S se definen como transversales o de cortante, se caracterizan por que se desplazan es perpendicular a la dirección de propagación; en estas ondas mucho tienen que ver el módulo de corte y de la densidad del medio. A diferencia de la onda P, a medida que las ondas S se alejan de la fuente que las origina hay una tendencia a que los periodos dominantes se alarguen un poco, no porque cambie el periodo de las ondas, sino porque las altas frecuencias se atenúan muy rápidamente por la acción de la disipación mecánica. (Bazán & Meli, 1985)



**Figura 3.** Modelo de propagación de ondas S

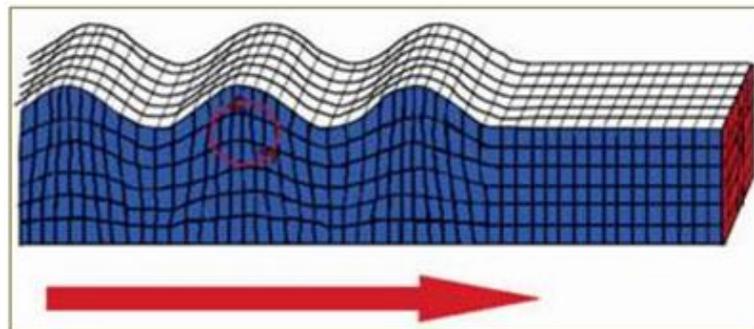
FUENTE: (<https://www.meteorologiaenred.com/ondas-sismicas.html>)

#### 2.2.2.2. Ondas Superficiales

Por la baja frecuencia en la que viajan originan mayor resonancia que las ondas corporales, por lo que son consideradas las ondas sísmicas más peligrosas.

#### **Ondas Rayleigh (R)**

Las ondas Rayleigh se desplazan por la superficie de tal manera que las partículas del medio transmisor describen trayectorias elípticas de sentido retrogrado al desplazamiento del estado. La amplitud de su movimiento reduce considerablemente con la profundidad. Las ondas R solo requieren la existencia de la superficie para su propagación.

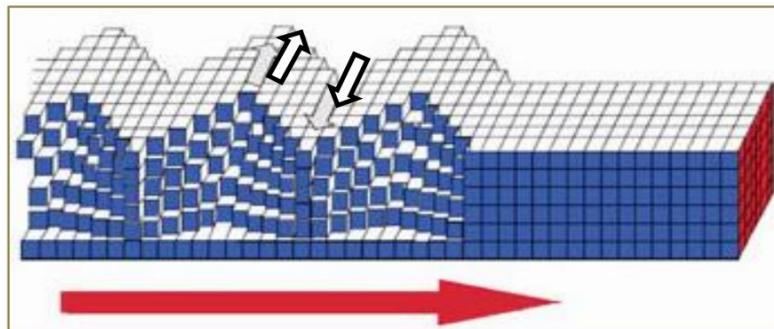


**Figura 4.** Modelo de propagación de ondas Rayleigh

FUENTE: (<http://www.funvisis.gob.ve/old/glosario.php>)

## Ondas Love (L)

Estas ondas se asemejan a las ondas de corte. Estas ondas requieren para su propagación, es decir para su existencia, una especie de capa diferenciada del medio subyacente, esta capa tiene rigidez diferente a la del medio subyacente. Con respecto a su velocidad un poco mayor a la velocidad de las ondas Rayleigh, y corresponde a de las ondas S. (Olivares & Quintana, 2014)



*Figura 5. Modelo de propagación de ondas love*

FUENTE: (<http://www.funvisis.gob.ve/old/glosario.php>)

### 2.2.3. Magnitud e Intensidad de sismos

Para la medición de un sismo existen dos parámetros principales, el primero es la intensidad, que calcula la medición de acuerdo al daño que desarrolla el sismo en estructuras y en el medio ambiente; y la segunda es la magnitud, mide la cantidad de energía liberada por un sismo (Olivares & Quintana, 2014).

#### 2.2.3.1. Intensidad sísmica

La intensidad de un sismo se considera por los efectos que generan las ondas sísmicas en un sitio; esto depende de las características propias del sitio en análisis, tales como la organización urbana, la cantidad de habitantes y su distribución espacial y las condiciones estructurales de las viviendas, así como también incluyen los efectos locales capaces de ser generados a causa de la geología del terreno. También sabemos que la

intensidad depende del tipo de suelo, en un suelo blando, las intensidades pueden variar en una roca firme de dos o tres veces más que la observada (Rodas, 2011). Otro dato interesante es que la intensidad del sismo se atenúa cuando es distante al epicentro (Rodas, 2011).

### **2.2.3.2. Magnitud**

La Magnitud es la medida del tamaño de la energía sísmica liberada. Es el parámetro de más amplio uso para caracterizar la energía liberada. (Olivares & Quintana, 2014)

#### ***Escala de magnitud local o escala de Richter.***

La magnitud del momento usa sismogramas más lo que ocurre físicamente durante un terremoto (que también puede derivarse de sismogramas), conocido como el "momento sísmico". El momento sísmico define cuánta fuerza se necesita para generar las ondas registradas. Esa información se conecta a la escala de magnitud de momento para darnos la cantidad de energía que se libera durante un sismo. También le denomina simplemente magnitud de Richter y su expresión matemática se muestra en la ecuación (II.1).

$$M_L = \log A - \log A_0 \quad (0-1)$$

#### ***Magnitud de ondas superficiales.***

Esta magnitud a diferencia de la escala de Richter realiza la medición de sismos a grandes distancias. Por ejemplo, su uso es recomendable en sismos que tienen focos superficiales y en el sismógrafo se encuentra a menos de 1000 Km del epicentro. También el cálculo de la magnitud de estos sismos está basado en la medición de las ondas

superficiales de Rayleigh que constituye un período largo con frecuencias de 20 seg” (Rodas, 2011). Se definen de acuerdo a la siguiente ecuación (II.2)

$$M_s = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1,66 \log D + 3,3S \quad (0-2)$$

#### ***Magnitud de ondas internas.***

Las magnitudes de ondas internas se usan para calcular sismos a determinadas profundidades terrestres, ya que a diferencia de las magnitudes ya expuestas en los párrafos anteriores estos casi no generan ondas superficiales. Para estos casos se usa la ecuación (II.3), definida por Gutenberg y Richter.

$$M_b = \log\left(\frac{A}{T}\right) + Q(D, h) \quad (0-3)$$

#### ***Magnitud momento.***

A diferencia de las otras escalas que se expusieron, la escala magnitud de momento puede ser utilizada en temblores de diferentes tamaños. Para determinar la magnitud primero se debe obtener el momento sísmico, con el producto del área de la ruptura y el desplazamiento de la falla. Utilizando estos parámetros la magnitud se hace la más característica del tamaño del temblor, en contraste de otras magnitudes que son calculadas únicamente con alguna fase sísmica en particular. Su enunciado matemático se observa en la siguiente ecuación (II.4).

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10,70 \quad (0-4)$$

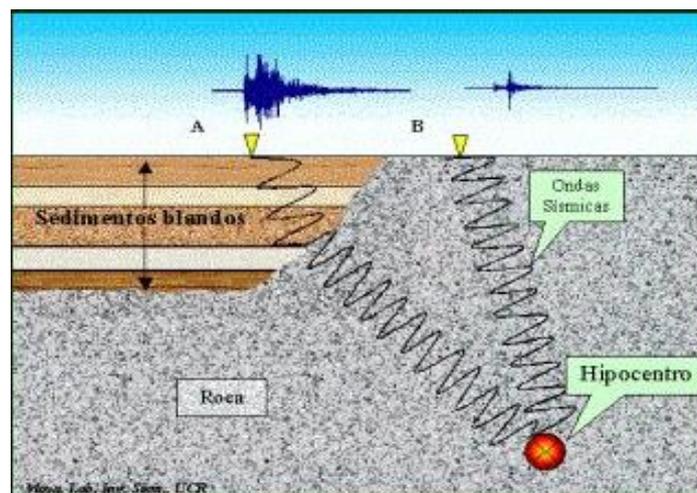
## 2.2.4. Amplificación de ondas sísmicas.

Para terremotos con una magnitud pequeña, en áreas cerca del epicentro donde se espera la amplitud sea menor debido a los efectos de atenuación en el desplazamiento de la señal sísmica por el interior de la tierra, la amplificación suele ser mayor.

### 2.2.4.1. Amplificación geométrica

Se refiere a los efectos de amplificación ocasionados por al contraste de impedancias entre dos medios en contacto. Para sedimentos, el contraste de impedancias se expresa como:

$$I_c = \frac{P_r * V_r}{P_s * V_s} \text{ con } v_r > v_s \quad (0-5)$$



**Figura 6.** Transmisión de la onda sísmica en diferentes tipos de estratos de suelo A) Suelos blandos, B) Roca.

FUENTE: (Tsige & Garcia, 2006)

### 2.2.4.2. Amplificación Dinámica

Se observa que es la diferencia entre la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia del depósito sedimentario.



$$f_n = \frac{v_s}{4H} \quad (0-6)$$

### 2.2.5. Periodo y frecuencia natural del suelo

El período fundamental se conoce como la relación entre la velocidad de onda y el espesor del estrato del suelo (Zuñiga, 2011). El período fundamental del suelo, es uno de los indicadores más utilizado para determinar los efectos locales del suelo al ser expuesta a eventos sísmicas (Bermúdez, Enrique, & Martinez, 2002).

### 2.2.6. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico es la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas de los sismos sean iguales o excedan los valores especificados en un sitio, durante un tiempo de exposición. El riesgo sísmico está limitado por la convolución de dos parámetros: la amenaza sísmica o peligro sísmico y la vulnerabilidad sísmica. (Lantada, 2007). El peligro sísmico se define como una propiedad de un terremoto que puede causar daños y pérdidas. Y la vulnerabilidad sísmica es el valor probabilístico de daño en la estructura para posibles intensidades sísmicas. Por lo tanto, la amenaza sísmica describe el fenómeno natural, o propiedad, de un terremoto y la Vulnerabilidad describe la capacidad de las edificaciones para resistir a diferentes escenarios sísmicos. (Ingeniería y Sociedad - UC, 2017).

Finalmente, el riesgo sísmico describe la probabilidad de pérdidas financieras y daños que podría causar el peligro dependiendo del nivel de la vulnerabilidad. El mayor riesgo sísmico se espera para las regiones de alta actividad sísmica y baja calidad de vivienda. Ambos factores son comunes para muchos estados en todo el mundo. Al mismo tiempo, si el nivel de actividad sísmica puede ser el mismo para una localidad, la calidad de la vivienda dentro de la localidad puede diferir significativamente. Las nuevas

tecnologías, desarrolladas para reducir el riesgo de amenazas naturales en las grandes ciudades modernas, son costosas y necesitan un monitoreo instrumental continuo de movimientos fuertes. El análisis de peligro sísmico probabilístico es un enfoque ampliamente utilizado para la determinación de las cargas sísmicas de diseño para estructuras de ingeniería. (Lantada, 2007).

#### **2.2.6.1. Cuantificación del Riesgo sísmico**

Como el riesgo sísmico depende de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad sísmica, su cuantificación implica una evaluación previa de estas dos variables.

Como parámetro cuantificado, el riesgo sísmico se refiere al daño y al costo que implica el proceso de degradación. Se proporciona una interpretación matemática útil para este análisis; La fórmula describe un Riesgo Sísmico Específico (S), que representa la probabilidad de que una estructura sufra uno o varios grados de daño en un intervalo de tiempo dado (tiempo de exposición) en una zona peligrosa específica. Para ello, es fundamental identificar la Amenaza Sísmica de la zona y la Vulnerabilidad Sísmica del entorno construido. El Riesgo Sísmico Específico es el resultado de la convolución ( $\otimes$ ) entre la Amenaza Sísmica (H) y la Vulnerabilidad Sísmica (V), ambas expresadas como probabilidades. El Riesgo Sísmico (R) es el resultado de la convolución entre el Riesgo Sísmico Específico (S) y el Costo (C) de los elementos en riesgo, identificando los gastos requeridos para reparaciones o reposición luego del posible impacto del sismo; las ecuaciones son:

$$S = H \otimes V$$

$$R = S \otimes C$$



Este enfoque de cuantificación del riesgo sísmico, si bien no es único, representa un consenso en la actualidad, la práctica general coincide en aplicar esta formulación para evaluar el riesgo sísmico.

El objetivo final de la evaluación de riesgos es entonces una estimación del costo de las pérdidas relacionadas con la degradación física de los edificios y las posibles consecuencias para los habitantes. Los resultados, aunque útiles para la planificación de estrategias y estimaciones de pólizas de seguros, no son completos en el sentido de incluir todos los posibles efectos sobre el medio ambiente urbano. La práctica general conduce a estimaciones parciales de las consecuencias reales, lo que significa que no se tienen en cuenta otros análisis de costos, como los costos económicos y sociales generales. (Castillo G., 2005)

### **2.2.7. Peligro sísmico**

El peligro sísmico puede definirse como la ocurrencia probable, dentro de un período específico de tiempo y en una zona limitada, de un evento sísmico de determinadas características. (INDECI, 2015). Implica medir la energía para un sismo esperado y para un sitio en particular, dependiendo de las características de una cierta fuente sismogénica. Los resultados del análisis de riesgo sísmico pueden definirse como predicciones, que contiene la probable ocurrencia de diferentes tamaños de terremotos en un sitio específico.

La parametrización para el proceso de evaluación implica representaciones de la fuente del terremoto, trayectoria de propagación de ondas y respuesta del sitio. Cada una de estas representaciones tiene diferentes definiciones e interpretaciones según el enfoque utilizado para la evaluación. Dos diferentes enfoques disponibles en la metodología general: un determinista y un probabilístico (Borda & Pastor, 2011).



### **2.2.7.1. Peligro sísmico determinista**

Identifica eventos sísmicos importantes pasados, considerando la sismicidad futura en una región similar al pasado, proporcionando un escenario sísmico para la evaluación de los peores casos de movimientos del suelo.

El procedimiento general de Análisis Determinístico de Peligro Sísmico identifica y delimita las fuentes sismogénicas que pueden impactar un sitio, con los correspondientes eventos máximos históricos (zona sísmica potencial); Las leyes de atenuación se utilizan con anticipación para estimar los parámetros del movimiento del suelo (principalmente la intensidad y la aceleración, pero también los valores espectrales) y la categorización del sitio sirve para evaluar los efectos del sitio. Los modelos de movimiento del suelo utilizados para realizar predicciones son simplificados y la mayoría de las veces empíricos en la parametrización; por ejemplo, los efectos de la fuente del terremoto están representados por la magnitud del terremoto; los efectos de la propagación de las ondas desde la zona del terremoto hasta la región se especifican mediante una distancia; y los efectos del sitio están especificados por una categoría de sitio. Finalmente, los resultados presentados en forma de un parámetro único que describe el movimiento máximo del suelo en el sitio. Puede inferirse a través de diferentes métodos, tales como:

- Catálogos sísmicos: Las colecciones de eventos registrados, instrumentales o históricos, sirven de base para la asunción del máximo evento posible. Los problemas más importantes en este enfoque son: el período que encierra el catálogo en la mayoría de los casos sólo unos pocos cientos de años, y la calidad del catálogo. En áreas de baja sismicidad, la cantidad y calidad de los datos disponibles no suele permitir la confiabilidad deseada en la decisión de elegir un evento.



- Tectónica: La definición de terremoto máximo se basa en medidas de desplazamiento de fallas por año, y su comparación con el desplazamiento total ocurrido en los terremotos más importantes. Esto se realiza a través de la medición de la ruptura producida en un terremoto histórico (mediante valoraciones de paleogeología y geología) y el desplazamiento acumulado por año de la falla (o fallas), suponiendo que el Strain-release será el mismo en el futuro.

La característica más importante del análisis Determinístico de Peligro sísmico es la subjetividad en las decisiones que involucran la evaluación del potencial de la zona sísmica, lo que requiere la experiencia y las opiniones de varios profesionales diferentes (sismólogos, geólogos sísmicos, ingenieros, analistas de riesgos, economistas, científicos sociales y funcionarios gubernamentales). Esto podría causar dificultad para llegar a un consenso sobre el potencial sísmico, debido a los diferentes antecedentes y objetivos de dichos profesionales. (Castillo G., 2005)

El escenario de evento elegido describe el peor caso de movimiento del suelo, pero no describe la probabilidad de que ocurra este evento. Por lo tanto, existe una falta de información sobre la frecuencia con la que es probable que ocurra, el nivel de movimiento del suelo esperado durante un período de tiempo finito (por ejemplo, la vida útil de las construcciones o instalaciones) y las incertidumbres introducidas en el proceso requerido para estimar el movimiento del suelo resultante. características.

#### **2.2.7.2. Peligro sísmico probabilístico**

Una de las herramientas más poderosas para la predicción de sismos es la evaluación a través de análisis probabilísticos, donde los eventos sísmicos se consideran eventos deterministas. Algunos modelos probabilísticos pueden describir, con un cierto nivel de confiabilidad, el comportamiento en el tiempo y el espacio para la generación de



eventos sísmicos en una zona delimitada, y estimar hacia adelante los efectos mediante leyes de atenuación. La predicción en este caso apunta a estimar la recurrencia de eventos a través de la probabilidad de ocurrencia y los períodos de retorno de estos eventos. El problema no es simple ya que en el proceso intervienen muchas variables y parámetros, lo que requiere un conjunto extenso de datos, en este caso datos observacionales. Los datos disponibles deben ser extensos en el tiempo y confiables en la calidad de la recolección y el tratamiento de los datos. El proceso de generación de terremotos se aborda a través de modelos probabilísticos de tiempo y espacio, basados en el comportamiento sísmico observado.

El punto más importante de este modelo probabilístico es que la ocurrencia de un evento no se ve afectada por eventos pasados ni futuros, esto se conoce como ausencia de memoria en los procesos de Poisson. El modelo es muy simple, directo y útil en análisis de peligrosidad sísmica en general, no considerando eventos premonitorios, réplicas o enjambres sísmicos. Hay otros modelos de tiempo disponibles, como las cadenas no homogéneas de Poisson, bayesianas y de Markov, que consideran la memoria en el proceso de ocurrencia del tiempo, por lo que necesitan un catálogo sísmico muy completo y procedimientos complicados para realizar.

Los modelos espaciales identifican y ubican fuentes sismogénicas para la generación de terremotos (suponiendo que las ocurrencias de tiempo y espacio son homogéneas dentro de la fuente) describiendo el comportamiento a través de relaciones de frecuencia-magnitud. Las fuentes pueden identificarse según las características que se tengan en cuenta en el momento del análisis; generalmente se utilizan cuatro tipos de zonas sísmicas:

- Zonas sismo-tectónicas: establece relaciones entre terremotos y estructuras geológicas (fallas).



- Zonas paleosísmicas: sin historia sísmica reciente, la paleosismicidad en el período Holoceno (aproximadamente los últimos 10.000 años) puede suponer una sismicidad futura ya que la falla se puede definir como activa.
- Zonas sismogénicas: la relación entre estructuras geológicas (fallas) y terremotos no es muy clara; aunque se puede inferir que la agrupación de eventos está asociada con una falla en particular, ninguna evidencia de actividad sísmica holocénica indica fallas activas.
- Zonas de sismicidad: se definen únicamente con el propósito de distribución de la sismicidad en el tiempo, sin considerar relaciones con estructuras geológicas, las delimitaciones en el espacio están enfocadas exclusivamente para la estimación general de peligrosidad sísmica.

#### **2.2.8. Vulnerabilidad sísmica**

La vulnerabilidad sísmica se define por el grado de daño que pueden sufrir las edificaciones hechas por el hombre y depende del diseño, la calidad de los materiales y las técnicas de construcción empleadas. La vulnerabilidad representa la sensibilidad de un determinado elemento en riesgo a un peligro determinado, en otras palabras y como se dijo anteriormente: el grado de amenaza que un peligro natural puede inducir a un determinado elemento. El problema central es el diseño de un parámetro capaz de medir este grado de amenaza; existen muchos enfoques al momento utilizar diferentes índices que en algunos describir el comportamiento de una determinada construcción cuando se somete a una determinada actividad sísmica. Una vez más, una cantidad considerable de parámetros está presente en los procedimientos de evaluación, por lo tanto, debe realizarse una definición muy cuidadosa del elemento a evaluar y cómo se modela.

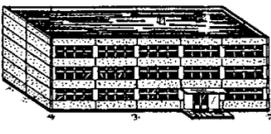
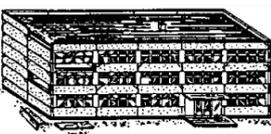
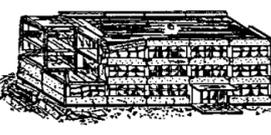
En general, la degradación de los elementos no estructurales no puede ser considerado como una amenaza a la integridad de la edificación, mientras que, por otro



lado, el daño a la estructura puede conducir al colapso parcial o total, comprometiendo la integridad física de la edificación.

En general, evaluar la vulnerabilidad sísmica implica la creación de factores o índices de vulnerabilidad asociados a los niveles de daño en tipos de edificación, teniendo diferentes expresiones tales como: funciones de vulnerabilidad, matrices de probabilidad de daño o distribuciones de probabilidad de daño, todos relacionados con parámetros que describen la potencia del sismo. Varias metodologías para la evaluación utilizan diferentes enfoques de la vulnerabilidad, como técnicas de evaluación, existen dos estrategias generales basadas en cómo se infiere la vulnerabilidad: la Vulnerabilidad Observada y la Vulnerabilidad Teórica.

**Tabla 2:** Daños para la Escala Macrosísmica Europea [EMS, 1998].

EMS-1998				
Daño Designado	Descripción para tipos de edificación			
	Concreto Armado		Albañilería	
	Descripción de Daño	Ilustración de Daño	Descripción de Daño	Ilustración de daños
<b>Grado 1:</b>  Daños insignificantes a leves. (sin daños estructurales)	Grietas finas en el revestimiento sobre los elementos estructurales del marco o en las paredes en la base. Grietas finas en tabiques y rellenos.		Grietas finas en algunas paredes; caída de pequeños trozos de yeso solamente. Caída de piedras sueltas de partes altas de la edificación únicamente en muy pocos casos.	
<b>Grado 2:</b>  Daño moderado. (Daño estructural leve, Daño no estructural moderado)	Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en tabiques y paredes de relleno, caída de revestimiento. Caída de mortero de las juntas de los paneles de pared.		Grietas en muchas paredes; caída de piezas de yeso bastante grandes, colapso parcial de chimeneas.	
<b>Grado 3:</b>  Daños sustanciales a graves. (Daño estructural moderado, Daños no estructurales severos)	Fisuras en columnas y uniones viga - columna de porticos en la base y en uniones de muros acoplados. Desprendimiento de cubierta de concreto, pandeo de varillas armadas. Grietas grandes en tabiques y paredes de relleno, falla de paneles de relleno individuales.		Grietas grandes y extensas en la mayoría de las paredes; se desprenden las tejas del techo. Las chimeneas se fracturan en la línea del techo, falla de elementos no estructurales individuales (tabiques, muros a dos aguas)	
<b>Grado 4:</b>  Daños muy graves. (Daño estructural severo, daño no estructural muy severo)	Grandes grietas en elementos estructurales con falla por compresión del concreto y fractura de las barras de refuerzo, falla de unión de barras reforzadas con vigas, torsión de columnas. Colapso de algunas columnas o de un solo piso superior.		Falla grave de muros, falla parcial estructural de techos y paredes.	
<b>Grado 5:</b>  Destrucción. (Daños estructurales muy graves)	Colapso de panta baja o parte (por ejemplo alas) de la edificación.		Colapso total o casi total	

**Vulnerabilidad observada:**

El daño observado en la evaluación posterior al terremoto se trata estadísticamente para establecer un parámetro que relacione los tipos de edificios y los grados de daño al



nivel de impacto sufrido. Este parámetro describe la sensibilidad al daño para diferentes tipos de edificios, relacionada con el esfuerzo de los eventos sísmicos. De hecho, se están realizando estudios posteriores al terremoto de la forma más exhaustiva posible, para medir esta distribución del impacto en diferentes sitios con diferentes niveles de daño. Para ello, se deben desplegar equipos especiales luego del impacto del sismo, midiendo réplicas y respuestas locales del sitio relacionadas con la evaluación Macrosísmica de daños en edificaciones (Evaluaciones de Intensidad) para obtener parámetros de vulnerabilidad.

### **Vulnerabilidad teórica:**

También definida como vulnerabilidad calculada; las evaluaciones de los daños se realizan utilizando modelos numéricos o mecánicos. Estos enfoques, aunque muy desarrollados, todavía enfrentan incertidumbres en la actualidad, relacionadas no solo con la generación del modelo sino también con la entrada a la que estará sujeto el modelo. Los modelos numéricos caracterizan las características más relevantes del edificio en el comportamiento dinámico; la integridad y, en consecuencia, la asertividad de los modelos dependen de los niveles de detalle realizados y de las suposiciones hechas para las resistencias de los materiales. Los modelos más problemáticos y complejos son los realizados para edificios existentes, donde se deben realizar idealizaciones en función del conocimiento de las condiciones de la Edificación. El modelado mecánico implica la reproducción de tipos de edificios idealizados en laboratorios de pruebas dinámicas; Una vez más, el conocimiento de las condiciones de la Edificación es un tema importante que determina el asertividad de la representación del modelo, y también debe realizarse analizando el daño acumulativo en cada modelo debido a la impracticabilidad económica de construir modelos idénticos para cada entrada sísmica posible. Se pueden encontrar ejemplos de esta metodología en donde el uso de modelos numéricos y mecánicos sirve



para establecer varias relaciones daño-vulnerabilidad para diferentes tipos de edificios en países de todo el mundo. Para la vulnerabilidad teórica, los modelos de evaluación deben calibrarse y verificarse con el daño observado en cada caso; los sismos que ocurren son entonces excelentes oportunidades para realizar estos procedimientos, pero implica un conocimiento detallado de las características del edificio (a través de levantamientos previos o por medio de planos estructurales). Debido a este análisis detallado de los edificios, tales métodos teóricos son inviables para ser aplicados sobre un grupo extenso de edificios.

Muchas de las metodologías realmente utilizadas pueden no caer completamente en una u otra de las categorizaciones anteriores expuestas, sino que generalmente se utiliza una combinación de ambos enfoques, proporcionando conjuntos de datos útiles que se complementan entre sí.

### **2.2.9. Albañilería Confinada**

Una de las características más importantes de la construcción de mampostería es su simplicidad. La superposición de piezas de ladrillos/bloques/piedras, con cohesión mediante mortero, es una técnica sencilla pero adecuada. (Abanto, 2017) A pesar de sus ventajas, la mampostería ha sido reemplazada por concreto y acero como material estructural en muchas partes del mundo desarrollado, particularmente en regiones sísmicamente activas. La baja resistencia a la tracción y la ductilidad de la mampostería parecen ser los inconvenientes más importantes para su implementación en la edificación (Abanto, 2017).

La resistencia a la tracción y la ductilidad de la albañilería de ladrillos no confinada son inferiores a la albañilería confinada. Además, los edificios de mampostería generalmente se construían sobre la base de reglas generales obtenidas durante muchos



años de práctica y/o datos empíricos de las pruebas. Hoy en día, la mayoría de los códigos de construcción permiten el diseño elástico de las estructuras con el resultado de que tales estructuras pueden dañarse en un terremoto, pero se debe evitar su colapso y los ocupantes del edificio deben poder evacuar con seguridad. (Arango, 2002).

La construcción de la albañilería confinada ha surgido como un método alternativo en comparación con la mampostería no reforzada y el concreto armado. El sistema está compuesto por un panel de mampostería confinado en todos sus lados por elementos de concreto armado horizontales y verticales con relación de refuerzo ligero. Este método es considerablemente diferente en comparación con el marco de concreto armado de relleno considerando su metodología de construcción, ya que el muro de albañilería se construye antes que las columnas y vigas de amarre. Además, el mecanismo de transferencia de carga es diferente en este sistema bajo gravedad y carga lateral. Los elementos de confinamiento (columnas y vigas de amarre) brindan resistencia al panel de mampostería y lo protegen de la desintegración total, especialmente bajo grandes deformaciones laterales (San Bartolomé, 1998).

### **2.3. MÉTODO GEOTÉCNICO PARA CARACTERIZACIÓN DE SITIO.**

En el área de la geotecnia se utiliza varios métodos para la caracterización de los suelos, entre ellas tenemos las pruebas in situ o en campo. A finales del siglo XVII se desarrolló en Alemania a la que se puede considerar como precursora de las pruebas de penetración, y consistía en hincar mediante impactos una varilla que terminaba en punta (Lazcano, 2007).

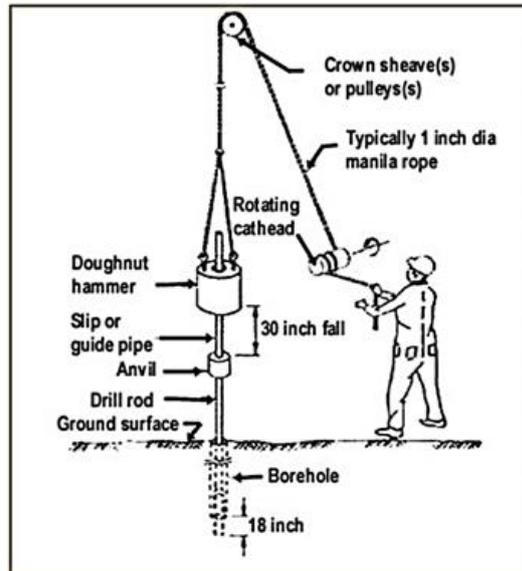
De la variedad de pruebas para la caracterización de sitio, se puede mencionar la prueba del cono dinámico, la prueba de CPT (Cone penetration test). (Lazcano, 2007).



### 2.3.1. Prueba de penetración estándar (SPT)

Las propiedades del suelo juegan un papel importante en muchas prácticas de la ingeniería geotécnica. Los ensayos de clasificación de suelos, como los límites de Atterberg, son rápidos y fáciles de realizar y también más económicos en comparación con los ensayos necesarios para determinar los parámetros del suelo, como la resistencia al corte. Puede llevar mucho tiempo obtener el resultado y ser difícil de realizar. Entonces, la predicción de estas propiedades con la Prueba de Penetración Estándar (SPT) da la oportunidad de obtener estos parámetros sin usar más pruebas de laboratorio. La prueba de penetración estándar se usa ampliamente debido a su simplicidad y no es costosa. La prueba se realiza para medir la resistencia del suelo. En este estudio, la confiabilidad del uso de la prueba de penetración estándar (SPT) en la predicción de algunas propiedades, como los límites de Atterberg y los parámetros de resistencia al corte.

Esta prueba se basa en obtener muestras de suelo la perforación comienza la penetración del subsuelo, lo que consiste en dejar caer libremente una masa de 63.5 Kg desde una altura de 76 cm sobre la cabeza de golpeo de las barras de sondeo para que el sacamuestras (cuchara partida) penetre los primeros 15 cm, luego se hincan a 30 cm y finalmente a los 45 cm, de esta manera se toma el número de golpes que se requieren para penetrar cada espesor. Tras finalizarse la hincada se extrae la muestra, abriendo longitudinalmente la cuchara, colocándola en un recipiente hermético con las siguientes descripciones: cuchara partida No de sondeo, número de muestra, profundidad, el valor de N y posteriormente se transporta al laboratorio.



**Figura 7.** Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos

FUENTE : (López Menardi, 2003)

### Corrección por confinamiento.

Teniendo en cuenta varios estudios, de distintos investigadores, hacen alcance de las relaciones empíricas más comunes para corregir el número de golpes en relación a la presión de confinamiento, Tabla 3

**Tabla 3.** Corrección por confinamiento de N campo

Autor (es)	Fórmula
Peck	$C_n = 0.77 \log \left( \frac{20}{P_a} \right)$
Seed	$C_n = 1 - 1.25 * \log(P_a)$
Meyerhof & Ishira	$C_n = \frac{1.7}{0.7 + P_a}$
Liao & Whitman	$C_n = \left( \frac{1}{P_a} \right)^{0.5}$
Skempton	$C_n = \frac{2}{1 + P_a}$
Seed & Idris	$C_n = 1 - K \log(P_a)$ Sí $P_a < 1 \Rightarrow K = 1.41$ Sí $P_a \geq 1 \Rightarrow K = 0.92$
Logaritmo	$C_n = \log \left( \frac{10}{P_a} \right)$
Schmertmann	$C_n = \left( \frac{32.5}{10.2 + 20.3 P_a} \right)$

FUENTE : (López Menardi, 2003)

$$P_a = \frac{Yh}{P_{atm}} \quad (0-7)$$

### Corrección de la eficiencia energética del martillo.

La eficiencia del martillo SPT juega un papel fundamental en el valor SPT N obtenido en las investigaciones geotécnicas. Cuanto menor sea la eficiencia energética de un martillo, mayor será el número de golpes necesarios para mover el muestreado SPT en 300 mm, lo que resultará en un número SPT N más alto. Para las mismas condiciones del suelo, un martillo SPT con menor eficiencia energética daría como resultado una mayor Número SPT N que el de un martillo SPT de mayor eficiencia energética. Por lo tanto, cualquier interpretación de las propiedades del suelo basado en SPT N depende en gran medida del martillo SPT y no reflejaría las verdaderas propiedades del suelo.

SPT N no corregido los valores no deben usarse para ninguna interpretación de las propiedades del suelo, ya que sería engañoso. Por lo tanto, cualquier propiedad del suelo, la interpretación de los datos SPT debe ser independiente del martillo, y esto solo es posible si la eficiencia energética de se conoce el martillo SPT y los datos se normalizan a N60.

**Tabla 4.** Valores de  $\eta_1$  según el tipo de martillo y procedimiento utilizado en la prueba.

<b>País</b>	<b>Tipo de martillo</b>	<b>Procedimiento</b>	<b><math>\eta_1</math></b>
<b>Japón</b>	Anular	Caída libre	1.30
	Anular	Cuerda con polea especial tirado a mano	1.12
<b>E.E.U.U.</b>	Seguridad	Cuerda con polea tirado a mano	1
	Anular	Caída libre	0.75
<b>Europa</b>	Anular	Caída libre	1
<b>Colombia</b>	Anular	Cuerda con polea tirado a mano	0.75

FUENTE: (Castrillo & Ulloa, 2006).



## **2.4. CRITERIOS PARA CARACTERIZACIÓN DE SITIO.**

La caracterización del sitio dispone de información de diseño necesaria para la planificación del proyecto. La caracterización del sitio es con frecuencia interrumpida y de naturaleza discontinua, por lo que se identifican suelos con fallas naturales que se está evaluando. Los elementos generales de la caracterización del sitio se enumeran posteriormente. Ayuda a establecer un formato para identificar y estimar los elementos que deben incluirse dentro del alcance del trabajo de construcción

### **2.4.1. Velocidad de onda de corte.**

La velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) se puede obtener de las ondas superficiales mediante un proceso denominado análisis multicanal de la técnica de ondas superficiales (MASW). La configuración básica del campo y la adquisición de datos para MASW es casi la misma que la de CMP convencional, levantamientos de reflexión de ondas corporales que se emplean habitualmente en la exploración de petróleo y gas. En MASW, la mejora de la energía de baja frecuencia contrasta más con los estudios de ondas corporales. Sin embargo, el registro óptimo del balanceo del suelo requiere una configuración de campo y parámetros de adquisición favorables a las ondas planas de Rayleigh de modo fundamental que rechazan todos los demás tipos de ondas acústicas.

**Tabla 5.** Correlaciones empíricas N-Vs para distintos tipos de suelos

Autores	Correlaciones empíricas (N-Vs)		
	Todo tipo de suelos	Arena	Arcilla
Kanai (1966)	$19N^{0.6}$	-----	-----
Ohba and Toriumi (1970)	$84N^{0.31}$	-----	-----
Shibata (1970)	-----	$32N^{0.5}$	-----
Imai and Yoshimura (1970)	$76N^{0.33}$	-----	-----
Fujiwara (1972)	$92.1N^{0.337}$	-----	-----
Ohta et al. (1972)	-----	$87N^{0.36}$	-----
Imai and Yoshimura (1975)	$82N^{0.39}$	-----	-----
Imai y Fumoto (1975)	-----	$89.8N^{0.0.341}$	-----
Imai (1977)	$92N^{0.329}$	-----	-----
Ohta and Goto (1978)	$91N^{0.337}$	$80.6N^{0.331}$	$80.2N^{0.292}$
JRA (1980)	-----	$80N^{0.33}$	$100N^{0.33}$
Seed and Idriss (1981)	$61N^{0.5}$	-----	-----
Imai	-----	$80.6N^{0.51}$	-----
Sykora and Stokoe (1983)	-----	$100.5N^{0.29}$	-----
Jinan (1987)	$116.1(N+0.3185)^{0.202}$	-----	-----
Lee (1990)	-----	$57.4N^{0.49}$	$114.43N^{0.31}$
Sisman (1995)	$32.8N^{0.51}$	-----	-----
Iyisan (1996)	$51.5N^{0.516}$	-----	-----
Jafari et al. (1997)	$22N^{0.85}$	-----	-----
Pitilakis et al. (1999)	-----	$145N_{60}^{0.178}$	$132N_{60}^{0.271}$
Kiku et al. (2001)	$68.3N^{0.292}$	-----	-----
Jafari et al. (2002)	-----	-----	$27N^{0.73}$
Hasancebi and Ulusay (2007)	$90N^{0.308}$	$90.82N^{0.319}$	$97.89N^{0.269}$
Hasancebi and Ulusay (2007)	$104.79N_{60}^{0.26}$	$131N_{60}^{0.205}$	$107.63N_{60}^{0.237}$
Uma Maheswari et al. (2010)	$95.64N^{0.301}$	$100.53N^{0.265}$	$89.31N^{0.358}$
Anbahagan et al. (2012)	$68.96N^{0.51}$	$60.17N^{0.56}$	$106.63N^{0.39}$

## 2.4.2. Clasificación de Sitio

### 2.4.2.1. FEMA 450.

**Tabla 6.** Clasificación de sitio según FEMA 450

Tipo de sitio	Descripción	$V_s$ (m/s)	$\dot{N}$	$S_u$ (KPa)
A	Roca fuerte	$V_s > 1500$	-	-
B	Roca	$1500 \geq V_s > 760$	-	-
C	Suelo muy denso y roca blanda	$760 \geq V_s > 360$	$\dot{N} > 50$	$S_u > 100$
D	Suelo rígido	$360 \geq V_s \geq 180$	$50 \geq \dot{N} \geq 15$	$100 \geq S_u \geq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$\dot{N} < 15$	$S_u < 50$
Se considera suelo blando cualquier capa de suelo arcillosa con más de 3 m de espesor que tenga las siguientes características:				
1) Índice de plasticidad $PI > 20$ .				
2) Contenido de humedad $w \geq 40\%$				
3) Resistencia al corte sin drenar $S_u < 25$				
F	Suelos que requieren una evaluación específica	1) Suelos que podrían sufrir licuefacción durante un sismo fuerte. 2) Turbas y/o arcillas con una gran cantidad de material orgánico con más de 3m de espesor. 3) Arcillas de alta plasticidad con más de 8m y $PI > 75$ . 4) Arcillas blandas con un espesor mayor a 36m y $S_u < 50$ KPa.		



$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (0-8)$$

$$S_u = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{S_{u_i}}} \quad (0-9)$$

Tener en cuenta que:

- Según la norma ASTM D 4318 se debe determinar el parámetro PI (Índice de plasticidad) se debe calcular según la norma ASTM D 4318; y el parámetro w (Porcentaje de humedad)
- Según la norma ASTM D 2216 se debe determinar el parámetro w (Porcentaje de humedad)

### 2.4.2.2. EUROCODE 8.

**Tabla 7.** Clasificación del Terreno

Tipo de terreno	Descripción	Parámetros		
		Vs30 (m/s)	N <sub>SPT</sub> (Golpes/30 cm)	Cu (KPa)
<b>A</b>	Roca u otra formación geológica similar a roca, incluyendo como máximo 5 m de material más débil en superficie.	Vs > 800	-	-
<b>B</b>	Depósitos de arena muy densa, gravas, o arcilla muy dura, de al menos, varias decenas de metros de espesor caracterizado por un incremento de las propiedades mecánicas en profundidad.	800 ≥ Vs > 360	N > 50	Cu > 250
<b>C</b>	Depósitos profundos arena densa o de densidad media, grava o arcilla dura con un espesor de unas decenas de metros hasta muchos centenares de metros.	360 ≥ Vs > 180	50 ≥ N > 15	250 ≥ Cu > 70
<b>D</b>	Depósitos de suelo suelto de cohesión media a no cohesivo, con o sin algunas capas de débil cohesión, o de suelo de ligera a gran cohesión predominantemente	Vs < 180	N < 15	Cu > 70
<b>E</b>	Un perfil de suelo formado por una capa aluvial superficial con valores de Vs de tipo C o D, y con un espesor entre 5 y 20 m, encima de un material duro de Vs > 800 m/s.	-	-	-
<b>S<sub>1</sub></b>	Depósitos consistiendo o conteniendo una capa de 10 m de espesor como mínimo, con arcillas/limos blandos con un índice de plasticidad alto (IP > 40) y un alto contenido de agua.	Vs < 100	-	20 ≥ Cu > 10
<b>S<sub>2</sub></b>	Depósitos de suelos licuefactables, arcillas sensibles, o cualquier otro perfil no incluido entre los tipos A a E o S <sub>1</sub> .	-	-	-

### 2.4.2.3. Norma NCES-02.

**Tabla 8.** Clasificación del Terreno(continuación)

Tipo de terreno	Descripción	Parámetro Vs (m/s)
I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso.	$V_s > 750$
II	Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.	$750 \geq V_s > 400$
III	Suelo granular de compactación media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme.	$400 \geq V_s > 200$
IV	Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando	$V_s \leq 200$

### 2.4.2.4. NCh433.

**Tabla 9.** Clasificación de sitio

Tipo de suelo	Descripción
I	Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s; o bien, resistencia a la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.
II	<p>a) Suelo con <math>V_s</math>, igual o mayor que 400 m/s en los 10m superiores y creciente con la profundidad.</p> <p>b) Grava densa, con peso unitario seco igual o mayor que 20 KN/m<sup>3</sup>, o índice de densidad ID (DR) (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Próctor modificado.</p> <p>c) Arena densa, con ID (DR) mayor que 75% o índice de penetración estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Próctor modificado.</p> <p>d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado <math>S_u</math>, igual o mayor que 0.10 MPa (Resistencia a la compresión simple igual o mayor que 0.20MPa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todos los casos, las condiciones indicadas se deben cumplir independientemente de la posición del nivel freático y del espesor mínimo del estrato debe ser 20m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20m, el suelo se debe clasificar como Tipo I.</p>
III	<p>a) Arena permanente no saturada, con ID (DR) entre 55 y 75%, N mayor que 20 (Sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa).</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Próctor modificado.</p> <p>c) Suelo cohesivo con <math>S_u</math> comprendido entre 0.025 y 0.10 MPa (<math>q_u</math> entre 0.20 MPa) independiente del nivel freático.</p> <p>d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al Tipo III es menor, el suelo se debe clasificar como Tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con <math>S_u</math> igual o menor que 0.025 MPa (<math>q_u</math> igual o menor que 0.05 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10m, el suelo se debe clasificar como tipo IV.</p>

#### 2.4.2.5. Código USGS.

**Tabla 10.** Clasificación de sitio según USGS

Tipo de sitio	Vs (m/s)
A	>750
B	360-750
C	180-360
D	<180

#### 2.4.2.6. Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07).

**Tabla 11.** Clasificación de suelos (MTI, 2007)

Tipo de sitio	Descripción	V <sub>s</sub> (m/s)
I	Afloramiento Rocoso	V <sub>s</sub> > 750
II	Suelo firme	750 ≥ V <sub>s</sub> > 360
III	Suelo moderadamente blando	360 ≥ V <sub>s</sub> > 180
IV	Suelo muy blando	V <sub>s</sub> > 180
		Es necesario construir espectros de sitio específicos, siguiendo los requisitos establecidos en este reglamento.

#### 2.4.2.7. Reglamento Nacional de Edificaciones.

Son estudios parecido a la microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios son limitados al lugar del proyecto y brindan información sobre las posibles modificaciones de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales ( Norma E030, 2018).

**Tabla 12:** Clasificación de los perfiles de Suelo (E030)

Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{S}_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		



## **2.5. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE SITIO.**

El análisis de respuesta de sitio se utiliza para predecir los efectos causados en un área de suelo debido a las cargas sísmicas y con base en estos se desarrolla el espectro de diseño, se evalúan los esfuerzos y deformaciones dinámicas para la evaluación del peligro de licuefacción y los esfuerzos inducidos por el sismo que podrían conducir a la inestabilidad de las estructuras. Si bien el origen de un evento sísmico es único, existen varios factores que influyen en la propagación de las ondas, entre los cuales el suelo juega un papel preponderante.

Los códigos de diseño sísmico brindan pautas para la construcción de espectros de diseño sísmico, que son indicadores de los niveles de demanda sísmica de una región en particular. En Perú, el código de diseño sísmico (E.030) establece un espectro de diseño que depende del tipo de suelo, factor de importancia y otros parámetros que determinan su geometría.

### **2.5.1. Efecto de la geología superficial**

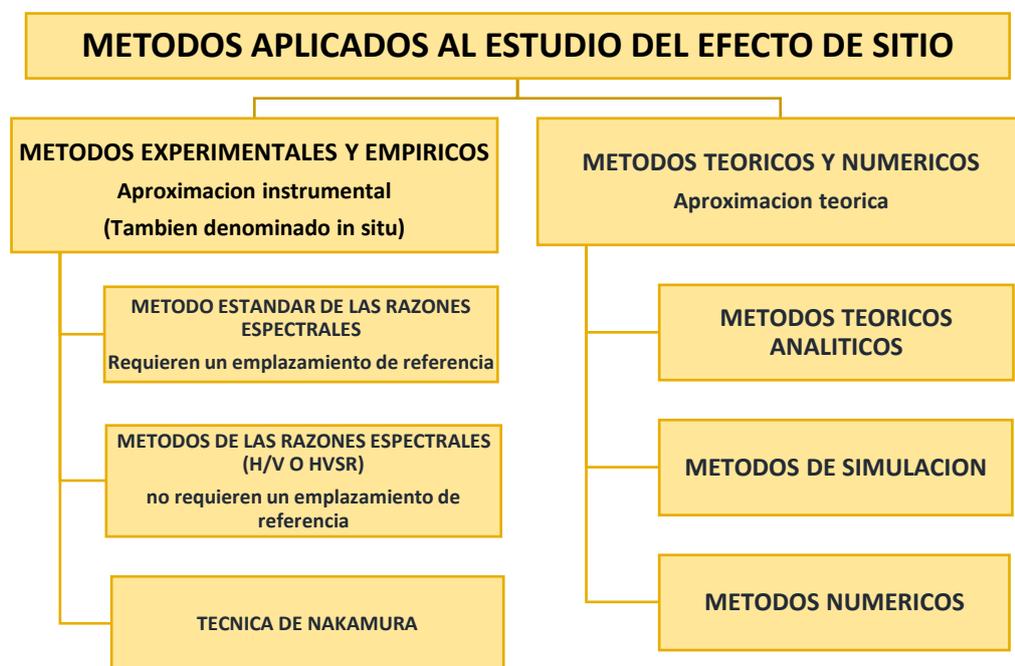
Los efectos de sitio juegan un papel muy importante en la caracterización de los movimientos sísmicos del suelo porque pueden amplificar o reducir fuertemente los movimientos sísmicos en el último momento justo antes de alcanzar la superficie del suelo de las estructuras hechas por el hombre. (CENAPRED, 1999).

La forma más sencilla es caracterizarlos en términos de clasificación del tipo de suelo. Dichos factores de amplificación específicos del tipo de suelo se implementaron en la primera versión del código de construcción japonés ya en la década de 1950. Los problemas asociados con tal idea son discutidos en detalle por Aki (1988), quien concluyó que la amplia clasificación convencional de tipos de suelo no es efectiva para caracterizar los efectos del sitio. Considerando que los factores de amplificación del sitio dependen

en gran medida de la frecuencia y del sitio, cualquier valor promedio para diferentes sitios con la misma categoría de sitio produce características de frecuencia relativamente pequeñas y planas, lo que está lejos de la realidad en cualquier sitio en esa categoría. Desafortunadamente, el enfoque del tipo de suelo continúa siendo una forma preferida de caracterizar los efectos del sitio. Debido a que nuestro espacio es limitado y no es apropiado fomentar más el enfoque del tipo de suelo, omitimos una revisión de los estudios para ese enfoque.

### 2.5.2. Métodos para el análisis de la respuesta sísmica

Considerando la información al alcance, se identifica puntos de interés en el lugar de estudio, se conoce como la identificación de Zonas con gran potencial (Olivares Hernandez & Quintana Mendoza , 2014). Se utiliza varios métodos para analizar el comportamiento dinámico de la zona, y calcular las propiedades de los suelos y cuantificarlas.

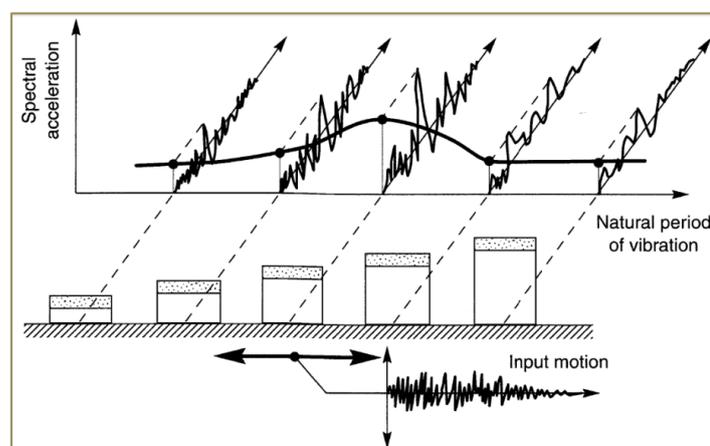


*Figura 8. Métodos aplicados al estudio de efecto de sitio*

## 2.6. ESPECTROS DE RESPUESTA.

El análisis de respuesta del sitio se utiliza para predecir los efectos causados en un depósito de suelo debido a las cargas sísmicas y con base en estos se desarrolla el espectro de diseño, se evalúan los esfuerzos y deformaciones dinámicas para la evaluación del peligro de licuefacción y los esfuerzos inducidos por el sismo que podrían conducir a la inestabilidad de las estructuras. Si bien el origen de un evento sísmico es único, existen varios factores que influyen en la propagación de las ondas, entre los cuales el suelo juega un papel preponderante.

Los códigos de diseño sísmico brindan pautas para la construcción de espectros de diseño sísmico, que son indicadores de los niveles de demanda sísmica de una región en particular. En Perú, el código de diseño sísmico (E.030) establece un espectro de diseño que depende del tipo de suelo, factor de importancia y otros parámetros que determinan su geometría. Sin embargo, dado que existe cierta preocupación en la forma en que se establecieron los rangos de velocidad de las ondas de corte para definir el tipo de suelo, es necesario evaluar su adecuación para validar o recomendar su redefinición. (Aguilar, Tarazona, Vergaray, & Barrantes, 2019)



**Figura 9.** Espectro de Respuesta.

Fuente: (Zuñiga, 2011)

### **2.6.1. Tipos de espectros de respuesta.**

Los espectros de respuesta son usados en análisis dinámicos, según los objetivos del análisis existen varios tipos de espectros. Estos se clasifican en:

#### **Espectros de respuesta inelástica.**

El método del espectro de respuesta inelástica es un enfoque prometedor en el diseño sísmico. El presente estudio tiene como objetivo desarrollar espectros de desplazamiento de fluencia, espectros de resistencia constante, espectros de ductilidad constante, espectros de factor de reducción, espectros de aceleración inelástica y espectros de desplazamiento de fluencia inelástica. Se utilizan tres modelos de histéresis: (elasto-plástico, bilineal y con degradación de la rigidez) para generar los espectros de tres terremotos artificiales y dos terremotos naturales. Estos espectros se pueden utilizar en el diseño inelástico de estructuras. (Crisafulli & Villafañe, 2002).

#### **Espectros de respuesta elástica.**

Las formas de los espectros elásticos dependen del tipo de suelo y la magnitud de los terremotos que contribuyen en mayor medida al riesgo sísmico definido a efectos de la evaluación probabilística del riesgo, y se han definido empíricamente a través del análisis de los registros reales de movimientos fuertes del suelo que estaban disponibles en todo el continente europeo. (Crisafulli & Villafañe, 2002).

#### **Espectros de diseño.**

Se utiliza para el diseño de nuevas estructuras o la evaluación de estructuras existentes en función del espectro de respuesta, correspondiente a varios eventos (terremotos) registrados en el mismo sitio. En este contexto el diseño de las construcciones de sismo resistencia se desarrolla mediante espectros suavizados y

considerando el efecto de varios terremotos, es decir que constituyen un representante de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de determinada zona.

Es importante que diferenciamos entre espectros de diseño, los cuales se aplican al cálculo, verificación de estructuras, representan la sismicidad probable del lugar y espectros de respuesta, que se obtienen para un terremoto

## 2.6.2. MÉTODOS PARA DETERMINAR ESPECTROS DE RESPUESTA.

### 2.6.2.1. Diferencia central.

$$\dot{u} = \frac{u_{i+1} + u_{i-1}}{2\Delta t} \quad ; \quad \ddot{u} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{2\Delta t^2} \quad (0-10)$$

Para el uso del método de diferencia central se requiere que previamente se obtengan los valores de la masa ( $m$ ), la rigidez ( $k$ ) y ( $C$ ). Además, se define  $\dot{u} = 0$  y  $\ddot{u} = 0$  como valores iniciales (Chopra, 1995).

### 2.6.2.2. Método de Newmark.

En su método Newmark realizó una serie de pasos, basados en los siguientes cálculos:

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t] \ddot{u}_{i+1} \quad (0-11)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0,5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1} \quad (0-12)$$

Este método del académico Newmark tiene dos casos importantes, que se nombran como Aceleración lineal y aceleración promedio.

- Aceleración promedio ( $\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{4}$ )



- Aceleración lineal  $\left(\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{6}\right)$

## 2.7. CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

La vulnerabilidad sísmica de una estructura es un aspecto potencial, por la cual la investigación en ingeniería puede intervenir, mejorar e incluso controlar el comportamiento sísmico de las edificaciones, reduciendo el nivel de vulnerabilidad, y en consecuencia el nivel de daño físico, siendo la causa la acción sísmica y el efecto el daño sísmico.

Para conocer la vulnerabilidad sísmica estructural, necesariamente se debe conocer sobre la acción sísmica que enfrenta una estructura y del daño sísmico que sufre la estructura.

### 2.7.1. La acción sísmica

La acción sísmica se puede representar mediante espectros de respuesta, función de densidad espectral de potencia y duración, de movimiento fuerte y por un conjunto de historias temporales de aceleración. En teoría, las tres representaciones deberían conducir exactamente a la misma respuesta de cualquier estructura dada.

El objetivo se puede lograr, pero los códigos deben dar cabida a las tres posibilidades en igualdad de condiciones.

La selección de la representación depende del tipo de estructura en estudio, y del detalle del análisis a realizar, pero siempre se debe aplicar la consistencia para la representación de la acción sísmica.

En las últimas décadas, la investigación y el desarrollo de metodologías han recibido una atención considerable que cuantifican los daños a las estructuras



relacionados con los sismos, pero existe grandes incertidumbres sujetas a la complejidad del fenómeno sísmico, pasando de alto la intensidad esperada de la acción sísmica, generando una edificación deficiente, permitiendo que los daños esperados aumenten, más probabilidad de pérdidas de vidas humanas y materiales a causa de un colapso.

### **2.7.2. El daño sísmico**

La predicción de la cantidad de daño sísmico que es probable que sufra una estructura durante su vida útil es un problema probabilístico.

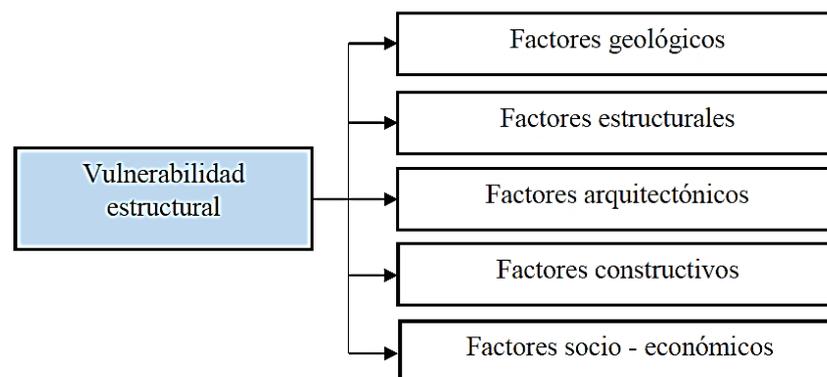
El daño físico estructural es de mayor importancia, ya que representa el deterioro de un sistema causado por una acción sísmica. Hoy en día existen muchos modelos para evaluar el daño. Sin embargo, aún no existe un criterio específico para definir los modelos de daño de forma unificada. Por lo tanto, el daño físico estructural depende del comportamiento de los elementos resistentes de la estructura. Considerando como consecuencia la disminución de la capacidad de resistencia, de rigidez y equilibrio de los elementos estructurales. (Castillo G., 2005)

La evaluación del daño se puede determinar de varias formas. Una de ellas es la de evaluar el daño de forma cuantitativa, apoyándose algunos parámetros de respuesta estructural como por ejemplo las distorsiones de entrepiso, demandas de ductilidad, de rigidez, cantidad de energía disipada, cortante de entrepiso, etc. Para cuantificar éstos parámetros se usan indicadores de daño. Estos indicadores pueden ser a nivel de cada elemento (Indicador de daño local), o nivel de la estructura (Indicador de daño global) (GUILLEN, 2012)

Una estructura está compuesta por sistemas estructurales y por sistemas no estructurales. Dependiendo donde la estructura sufra daños, las cuales pueden ser daños estructurales o no estructurales. El daño estructural es el que se produce en los elementos

que conforman el sistema resistente (columnas, vigas y muros de carga); los elementos que no forman parte del sistema estructural resistente, como son el revestimiento, las divisiones con tabiques, se consideran dentro del daño no estructural (GUILLEN, 2012).

Generalmente los daños son causados por una combinación de aspectos que son parte de los siguientes factores:



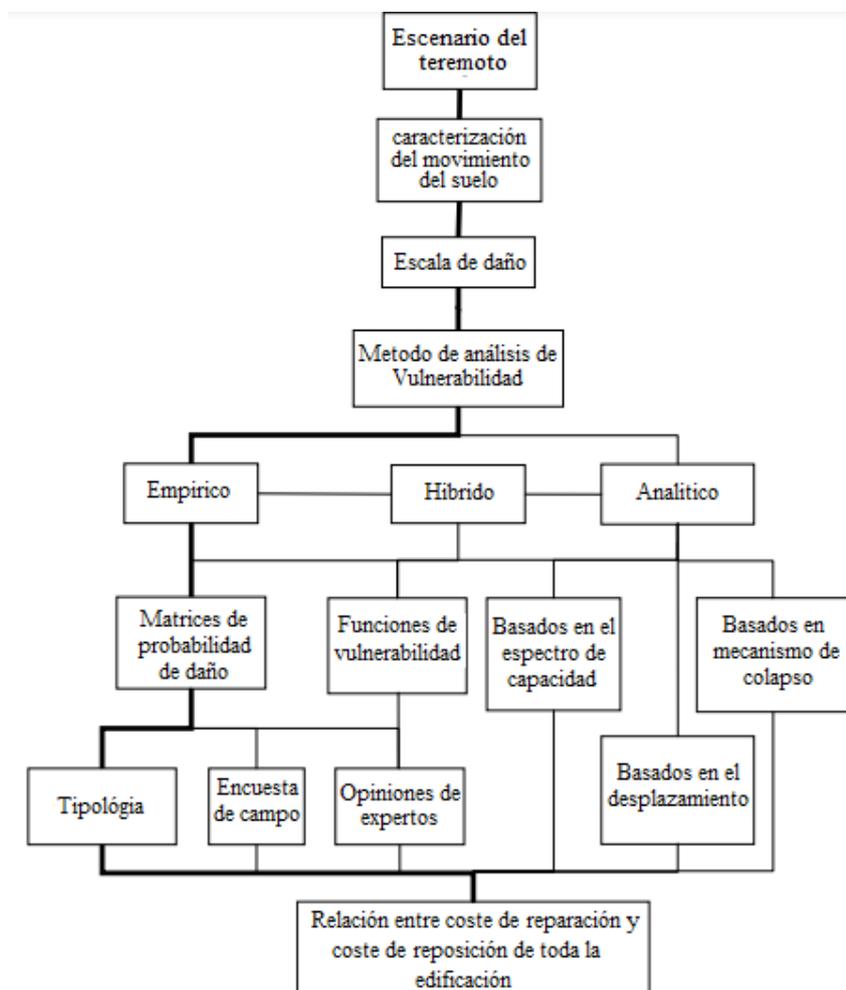
*Figura 10: Factores que influyen en la vulnerabilidad estructural de Edificaciones*

## 2.8. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

### 2.8.1. Generalidades

Existe varios métodos propuestos en la literatura para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes. El tipo y número de datos de entrada y salida, las limitaciones de uso para diferentes tipologías estructurales y la complejidad de uso se examinan para cada metodología a fin de identificar la más adecuada para evaluar la vulnerabilidad de una determinada clase de edificaciones, en función de los datos disponibles, el cálculo de esfuerzo y el tipo de juicio de vulnerabilidad. La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones a menudo se adopta en la literatura para proporcionar la metodología de vulnerabilidad con diferentes niveles de detalle y confiabilidad.

Un componente importante de un modelo de pérdida es una metodología para evaluar la vulnerabilidad del entorno construido. La vulnerabilidad sísmica de una estructura se puede describir como su susceptibilidad al daño por sacudidas del suelo de una intensidad dada. El objetivo de una evaluación de vulnerabilidad es obtener la probabilidad de un nivel dado de daño a un tipo de edificio dado debido a un escenario de terremoto. Los diversos métodos para la evaluación de la vulnerabilidad que se han propuesto en el pasado para su uso en la estimación de pérdidas se pueden dividir en dos categorías principales: empíricos o analíticos, los cuales se pueden usar en métodos híbridos.



**Figura 11:** Los componentes para la evaluación de Riesgo sísmico y las opciones para el procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad.

FUENTE: (Calvi G., y otros, 2006)



Es necesario realizar una evaluación de vulnerabilidad para una caracterización particular del movimiento del suelo, que representará la demanda sísmica del terremoto en la edificación. El parámetro seleccionado debe poder correlacionar el movimiento del suelo con el daño de la edificación. Tradicionalmente se han utilizado la intensidad macrosísmica y la aceleración máxima del suelo (PGA), mientras que propuestas más recientes han relacionado la vulnerabilidad sísmica de edificaciones con los espectros de respuesta obtenidos a partir de los movimientos del suelo.

En los procedimientos empíricos de vulnerabilidad, la escala de daños se utiliza en los esfuerzos de reconocimiento para generar estadísticas de daños posteriores a un terremoto, mientras que en los procedimientos analíticos se relaciona con las propiedades mecánicas de la edificación en estado límite, como la capacidad de deriva entre plantas.

La evolución de los procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad tanto para edificios individuales como para clases de edificios se describe en las siguientes secciones, en las que se informan las referencias, aplicaciones y desarrollos más importantes relacionados con cada metodología. Se ha puesto un mayor énfasis en la evaluación de la vulnerabilidad del entorno construido a escala urbana para su uso en metodologías de evaluación de riesgos y pérdidas.

### **2.8.2. Métodos Empíricos/ Estadísticos**

Son métodos de evaluación de la vulnerabilidad sobre la base de datos observados. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones a grandes escalas geográficas se llevó a cabo por primera vez a principios de los años 70, mediante el empleo en función de las intensidades macrosísmicas o PGA en lugar de las ordenadas espectrales, creando una mayor dispersión de los resultados. Son enfoques razonables y posibles que podrían emplearse inicialmente en análisis de riesgo sísmico a gran escala.



Estos métodos se constituyen por un alto grado de subjetividad, con un enfoque menos exigente pero que son más económicos de implementar. Entre los inconvenientes de estos enfoques se encuentra la falta de datos (terremotos de magnitud alta), así como su imposibilidad de evaluar las consecuencias físicas de las diversas características de los elementos expuestos de una manera precisa y directa.

Hay dos tipos principales de métodos empíricos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una determinada tipología de edificación que se basan en los daños observados después de los terremotos, los cuales pueden denominarse relaciones daño – movimiento.

- 1) Las matrices de probabilidad de daño (MPD) que expresan en una forma discreta la probabilidad condicional de daño  $j$ , debido a un movimiento del suelo de intensidad  $i$

$$P[D = j|i]$$

- 2) Las funciones de vulnerabilidad, que son relaciones gráficas o matemáticas que expresan en forma continua la vulnerabilidad en función de algún parámetro que describa la intensidad del sismo.

### **Métodos de evaluación de detección visual rápida**

Existen varios métodos de evaluación rápida, como el método de detección en la calle. El método de detección en la calle como procedimiento es el enfoque de evaluación rápida más simple. Rapid Visual Screening (RVS) como un procedimiento de estimación cualitativa se puede utilizar en una zona urbana para clasificar la vulnerabilidad de las estructuras. Se construye a partir de observaciones realizadas desde el exterior de la edificación, sin tener en cuenta el interior de la edificación. Este reconocimiento visual se puede realizar en menos de 30 min. Los estándares de FEMA en los EE. UU. desarrollaron varias pautas para la evaluación de riesgos y la modernización de edificios

estructurales como FEMA 310. Sin embargo, según FEMA 154 el método de detección en la calle se conoce como Método de detección visual rápida. Este método es el primer paso en la evaluación antes de entrar en un procedimiento de evaluación detallado y clasificar los edificios según sus materiales de construcción y sus sistemas estructurales. Básicamente, es una técnica de inspección de fachadas que funciona en la detección y observación de los parámetros del edificio y en el cálculo del puntaje de desempeño estructural básico para determinar las prioridades de riesgo para los edificios. El proceso comienza con el puntaje de desempeño que se calculó en función de las características de la edificación, como en FEMA 154.

### Matrices de Probabilidad de Daño.

(Whitman, Reed, & Hong, 1973) Sugiere el uso del formato de matrices de probabilidad de daño, presentando la Tabla, donde proporciona edificaciones en un nivel determinado de daño estructural y no estructural en función de la intensidad, se compilan para varias tipologías estructurales de acuerdo con el daño sufrido en más de 1600 edificaciones después del terremoto de San Fernando de 1971. El daño se obtiene como la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición.

**Tabla 13** Formato de Matriz de Probabilidad de Daños Propuesta por Whitman *et al.*(1973):

Estado Daño	Daño estructural	Daño no estructural	Relación de Daño (%)	Intensidad del sismo				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Ninguno	Ninguno	0-0.05	10.4	-	-	-	-
1	Ninguno	Menor	0.05-0.3	16.4	0.5	-	-	-
2	Ninguno	Localizado	0.3-1.25	40.0	22.5	-	-	-
3	No perceptible	Generalizado	1.25-3.5	20.0	30.0	2.7	-	-
4	Menor	Sustancial	3.5-4.5	13.2	47.1	92.3	58.8	14.7
5	Sustancial	Extenso	7.5-20	-	0.2	5.0	41.2	83.0
6	Principal	Casi Total	20-65	-	-	-	-	2.3
7	Edificación Inutilizable		100	-	-	-	-	-
8	Colapso		100	-	-	-	-	-

### Método del índice de Vulnerabilidad.

Se ha utilizado ampliamente en Italia en las últimas décadas y se basa en una gran cantidad de datos de estudios de daños; este método es 'indirecto' porque se establece una relación entre la acción sísmica y la respuesta a través de un 'índice de vulnerabilidad'. El método utiliza un formulario de encuesta de campo para recopilar información sobre los parámetros importantes del edificio que podrían influir en su vulnerabilidad, estos parámetros controlan el daño causado por la acción sísmica.

**Tabla 14:** Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de albañilería confinada

Número	Parámetro	Calificación Ki				Peso Wi
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Entrepisos	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

*Fuente: Benedetti, D., Petrini, V. (1984). Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione*

**Tabla 15:** Matriz de calificación de la vulnerabilidad de edificaciones de concreto armado

Número	Parámetro	Calificación Ki			Peso Wi
		A	B	C	
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.00
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.00
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1.00
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.00
5	Entrepisos	0	1	2	1.00
6	Configuración en planta	0	1	2	1.00
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.00



8	Conectividad entre elementos	0	1	2	1.00
9	Miembros estructurales de baja ductilidad	0	1	2	1.00
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.00
11	Estado de conservación	0	1	2	2.00

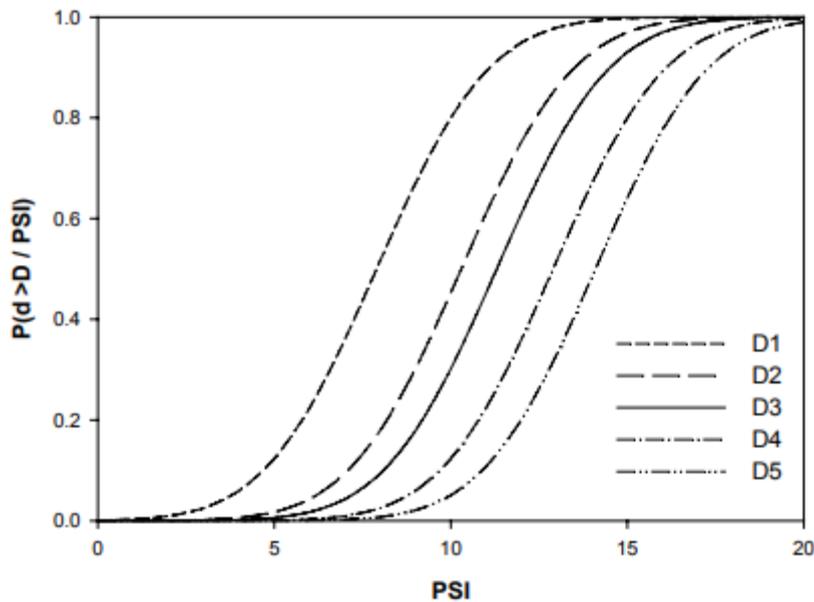
Fuente: [Yépez, 1996].

Se utiliza 11 parámetros en total a evaluar en la calificación de los edificios tanto de albañilería como concreto armado. Los valores de los coeficientes de calificación aplicados,  $K_i$ , varían según las condiciones de calidad desde A (óptimo) hasta D (desfavorable), las cuales se ponderan mediante un factor  $W_i$  para dar cuenta de su importancia relativa. El índice global de vulnerabilidad de cada edificio, se evalúa utilizando la siguiente formulación:

$$I_v = (\sum K_i \cdot W_i)$$

#### **Método de las curvas continuas de Vulnerabilidad.**

Se desarrolla utilizando funciones de vulnerabilidad continua basadas directamente en el daño observado de las edificaciones por terremotos pasados, se introdujo poco más tarde que las MPD; un obstáculo para su derivación es el hecho de que la intensidad macrosísmica no es una variable continua. Este problema fue superado por (Spence, Cobum, & Pomonis, 1992) mediante el uso de su escala de intensidad sin parámetros (PSI) para derivar funciones de vulnerabilidad basadas en el daño observado de los edificios usando la escala de daño MSK. También usó el parámetro de movimiento del suelo PSI para derivar curvas de vulnerabilidad para unidades de apartamentos en Italia. Posteriormente, ambos estudios convirtieron el PSI en PGA utilizando funciones de correlación empírica, de modo que la entrada y la respuesta no se definieron utilizando el mismo parámetro.



*Figura 12: Curvas de vulnerabilidad para pórticos de concreto armado utilizando el PSI y MSK*

### Métodos de selección

En Japón, la evaluación del comportamiento sísmico de edificios existentes de concreto armado de menos de 6 plantas se lleva a cabo desde 1975 con el uso del Método del índice sísmico japonés. Hay tres procedimientos de detección sísmica disponibles para estimar el desempeño sísmico de un edificio con una confiabilidad que aumenta con cada nivel de detección. El comportamiento sísmico de la edificación está representado por un índice de desempeño sísmico ( $I_s$ ), que debe calcularse para cada piso en cada dirección del pórtico dentro del edificio usando la siguiente ecuación:

$$I_s = (E_o) \cdot (S_d) \cdot (T)$$

Donde,  $E_o$  es un descriptor del comportamiento básico estructural,  $S_d$  es un parámetro relativo a la concepción estructural de la edificación y  $T$  es otro parámetro que está relacionado con la edad del edificio. Para calcular  $E_o$  es necesario encontrar el producto del índice de resistencia de los elementos verticales  $C$  con el índice de ductilidad  $F$  de los mismos elementos, considerando el modo de fallo, el número total de pisos y la posición del piso estudiada. La influencia de la irregularidad, rigidez y/o concentración



de masa de una estructura en el comportamiento sísmico debe tenerse en cuenta mediante el subíndice  $S_d$ . La influencia del deterioro y el agrietamiento se tiene en cuenta por el subíndice  $T$ , que se basa en los datos encontrados a través de un campo investigación.

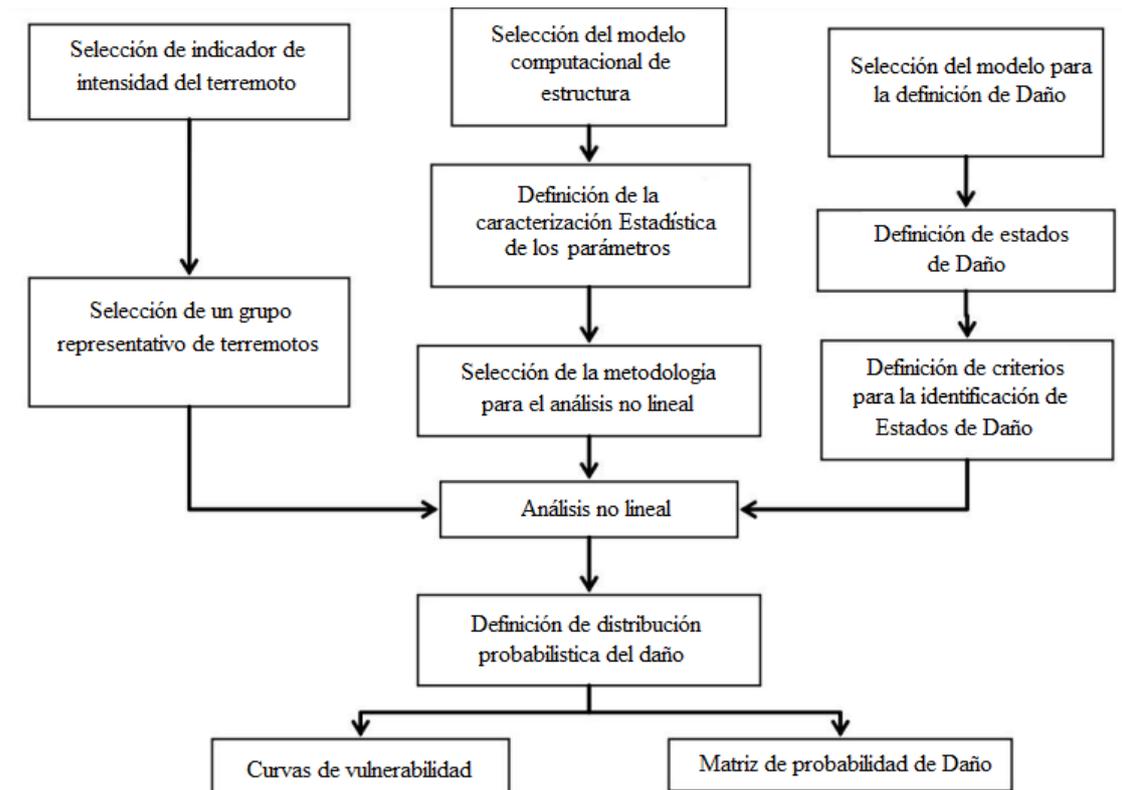
Una vez obtenido el índice  $I_s$ , éste debe compararse con un índice de referencia  $I_{so}$  (índice de fallo sísmico) para determinar si el edificio puede considerarse seguro frente a un determinado nivel de terremoto (es decir  $I_s > I_{so}$ )

### **2.8.3. Métodos Analíticos/ Mecánicos**

La aparición de más ecuaciones de atenuación en términos de ordenadas espectrales y la correspondiente derivación de mapas de peligrosidad sísmica en términos de ordenadas espectrales, en oposición a la intensidad macrosísmica o PGA, no solo ha favorecido la mejora de los métodos empíricos, sino que también ha dado lugar a el desarrollo de métodos analíticos. Estos métodos tienden a presentar algoritmos de evaluación de la vulnerabilidad detallados y transparentes con un significado físico directo, también permiten una calibración sencilla de diversas características del material de construcción y las amenazas. Esto último es una clara desventaja de los métodos empíricos. “Utilizan principalmente el análisis no lineal consideran la degradación de rigidez de los edificios existentes y se usan preferiblemente para estudios individuales de vulnerabilidad debido al considerable esfuerzo computacional involucrado”. Tales características colocan el tipo analítico de enfoques de evaluación de pérdidas, en una posición ideal para el empleo en estudios paramétricos que tienen como objetivo la definición y calibración de políticas o iniciativas de planificación urbana, rehabilitación, seguros y otras similares. (Calvi G. M., y otros, 2006)

## Curvas de vulnerabilidad derivadas analíticamente y MPD

Aunque las curvas de vulnerabilidad y las matrices de probabilidad de daño se han derivado tradicionalmente utilizando datos de daños observados, las propuestas recientes han hecho uso de análisis computacionales para superar algunos de los inconvenientes de los métodos destacados en la sección anterior.



*Figura 13: Diagrama de flujo para describir los componentes del cálculo de las curvas analíticas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño*

FUENTE: (Calvi G. , y otros, 2006)

### Métodos híbridos

Las matrices de probabilidad de daño híbridas y las funciones de vulnerabilidad combinan estadísticas de daños posteriores a un terremoto con estadísticas de daños analíticos y simulados a partir de un modelo matemático de la tipología de construcción en consideración. Los modelos híbridos pueden ser particularmente ventajosos cuando se

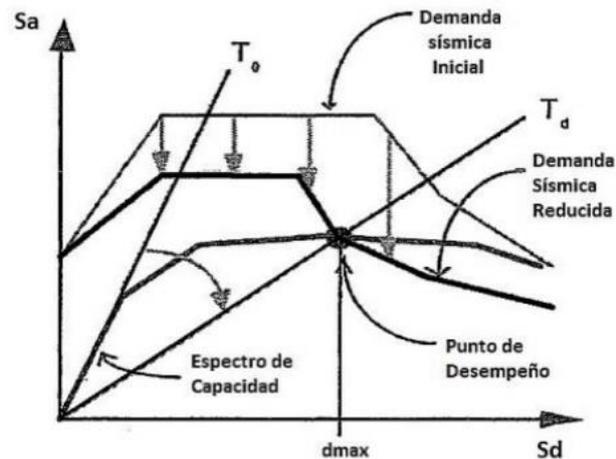


carece de datos de daño en ciertos niveles de intensidad para el área geográfica en consideración y también permiten realizar la calibración del modelo analítico. Además, el uso de datos de observación reduce el esfuerzo computacional que sería necesario para producir un conjunto completo de curvas de vulnerabilidad analíticas de MPD.

### **Métodos basados en el espectro de Capacidad**

El componente de evaluación de la vulnerabilidad del procedimiento está contenido en el módulo de daños físicos directos y se basa en el método de espectro de capacidad de ATC-40 (ATC, 1996). En este método, el punto de rendimiento de un tipo de edificio bajo un escenario particular de movimiento del suelo (o PESH) se encuentra a partir de la intersección de un espectro de aceleración-desplazamiento, que representa el movimiento del suelo, y un espectro de capacidad (curva de empuje), que representa el desplazamiento horizontal de la estructura bajo una carga lateral creciente. El espectro de demanda se reduce tanto para los efectos de amortiguamiento como de duración. La reducción del espectro se aplica para tener en cuenta el amortiguamiento histerético que se produce durante el comportamiento inelástico de la estructura, donde el amortiguamiento se basa en el área encerrada por el bucle histerético en el desplazamiento y la aceleración de respuesta máxima. Se aplica un factor de reducción a la amortiguación histerética en función de la duración de la agitación para simular la degradación (p. ej., pinzamiento) del bucle de histéresis durante la respuesta cíclica. (Calvi G. M., y otros, 2006)

El espectro de capacidad se ha desarrollado para cada clase de edificio utilizando edificios modelo diseñados para diferentes niveles de práctica de diseño en los EE. UU. El punto de rendimiento obtenido de este edificio promedio proporciona la entrada de desplazamiento en las curvas de vulnerabilidad del estado límite para dar la probabilidad de estar en una banda de daño dada.



**Figura 14:** MEC para determinar el punto de capacidad por demanda

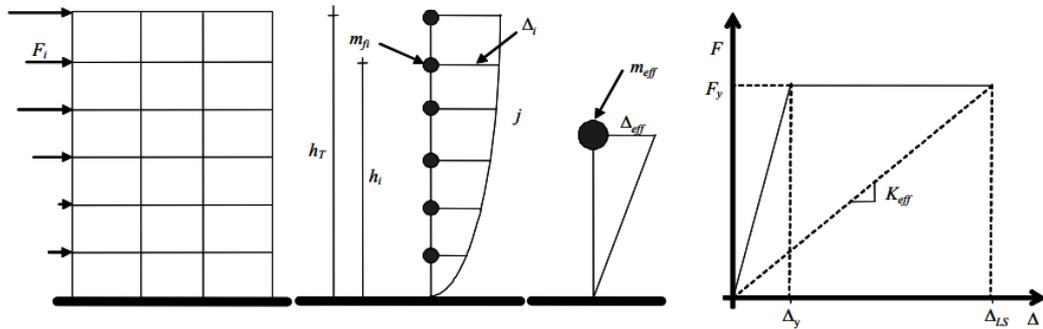
FUENTE: (Herrera, Vielma, & Pujades, 2014)

### Métodos basados en desplazamiento

Se utilizó los desplazamientos como indicador fundamental del daño y una representación espectral de la demanda sísmica. Este procedimiento utilizó los principios del método de diseño basado en el desplazamiento directo, en el que una estructura de múltiples grados de libertad se modela como un solo.

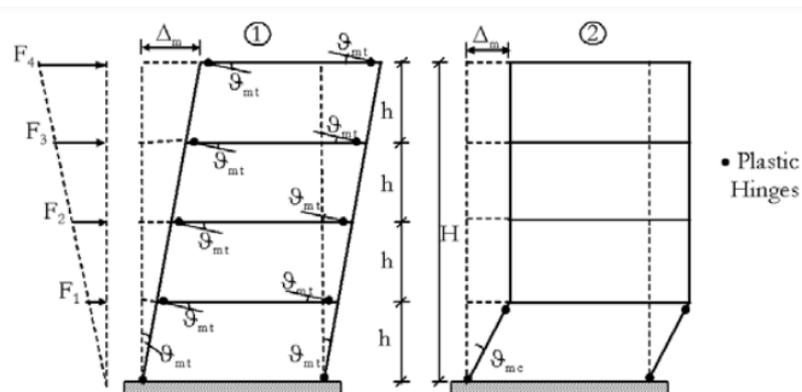
Se tienen en cuenta los diferentes perfiles de desplazamiento de acuerdo con el mecanismo de falla o el perfil de desplazamiento en un estado límite determinado, mientras se utilizan las propiedades geométricas y materiales de las estructuras dentro de una clase de edificio Figura 15. Para pórticos de concreto armado, se consideran las capacidades de desplazamiento de los mecanismos de falla por desplazamiento lateral de columnas (piso blando) y desplazamiento lateral de vigas (daño distribuido) Figura 16, mientras que para estructuras de mampostería se han identificado diferentes modos de falla en el plano Figura 17. Este enfoque es particularmente adecuado para los estudios de estimación de pérdidas, ya que, además de la personalización directa a cualquier

característica, es computacionalmente muy eficiente, lo que permite llevar a cabo estudios paramétricos extensos y repetitivos de manera favorable.

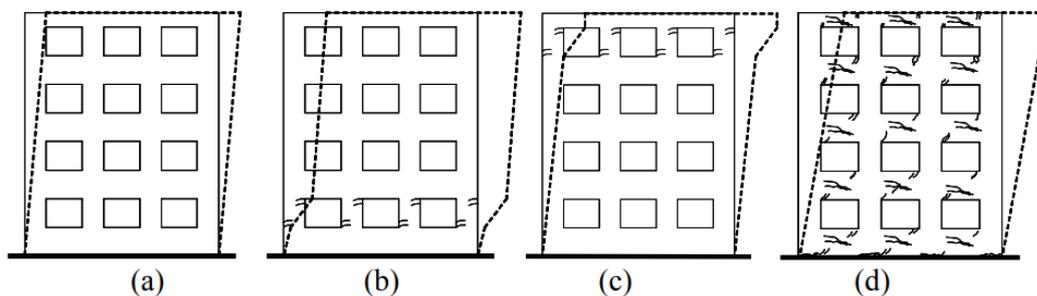


**Figura 15:** Modelo simplificado para un sistema SDOF equivalente

FUENTE: (Herrera, Vielma, & Pujades, 2014)



**Figura 16:** Respuesta distribuida al daño/balanceo de vigas (izquierda) y de piso blando/balanceo de columnas (derecha)



**Figura 17:** Formas deformadas para diferentes estados límite y modos de falla en el plano

## 2.9. MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS

La mayoría de las viviendas de la ciudad de Puno son del sistema de Albañilería confiada y Concreto armado, al desarrollar un modelo numérico para determinar el comportamiento de la edificación, dependerá de las características físicas y mecánicas de los materiales estructurales, para adecuar al modelo numérico lo más cercano a la realidad.

### 2.9.1. Albañilería

Las características de la albañilería dependen del tipo de material usado en la vivienda. Cabe mencionar que los muros existentes son de ladrillos KK artesanales, y ladrillos KK industriales.

**Tabla 16.** Resistencia de Albañilería (numeral 13.9 NTE E. 0.70)

<b>RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA</b>				
<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>				
<b>Materia prima</b>	<b>Denominación</b>	<b>Unidad f'b</b>	<b>Pilas f'm</b>	<b>Muretes v'm</b>
Arcilla	King Kong Artesanal	55	35	5.1
	King Kong Industrial	145	65	8.1

*Fuente: E.070 del RNE - 2018.*

- Módulo de Elasticidad de los Muros de albañilería ( $E_m$ ):

$$E_m = 500f'm$$

$$\text{Para } f'm = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad E_m = 17\,500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'm = 65 \text{ kg/cm}^2 \quad E_m = 32\,500 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Rigidez de corte de los Muros de Albañilería ( $G$ ):

$$G = 0.4E_m$$

$$\text{Para } f'm = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 7\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } f'm = 65 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 13\,000 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Poisson de los Muros de Albañilería ( $\nu$ ):

Según la teoría de Mecánica de Materiales:

$$\frac{Ec}{2G} = 1 + \nu$$

Aplicamos la ecuación anterior del Módulo de Rigidez al cortante obteniendo:

$$\nu = 0.25$$

**Tabla 17:** Características del material de Albañilería Confinada

<b>Unidades de Arcilla:</b>	<b>Sólidas (Ladrillo King Kong)</b>	<b>Huecas (Ladrillo Pandereta)</b>
<b>Espesor efectivo del ladrillo "t"</b>	13cm Aparejo de Soga 23cm Aparejo de Cabeza	11cm Aparejo de Soga 23cm Aparejo de Cabeza
<b>Peso Específico "<math>\gamma_m</math>"</b>	1800kgf/m <sup>3</sup>	1350kgf/m <sup>3</sup>
<b>Tipo de Ladrillo King Kong</b>	<b>Artesanal</b>	<b>Industrial</b>
<b>Resistencia a la compresión "<math>f_m</math>"</b>	35kgf/cm <sup>2</sup> (0,35MPa)	65kgf/cm <sup>2</sup> (0.65MPa)
<b>Módulo de Elasticidad "<math>E_m=500 \times f_m</math>"</b>	17 500kgf/cm <sup>2</sup> (1 750MPa)	32 500kgf/cm <sup>2</sup> (3 250 MPa)
<b>Módulo de Corte "<math>G_m=0.4 \times E_m</math>"</b>	7 000kgf/cm <sup>2</sup> (700MPa)	13 000kgf/cm <sup>2</sup> (1 300MPa)
<b>Módulo de Poisson "<math>\mu_m</math>"</b>	0,25 (Dúctil, Flexible)	

### 2.9.2. Concreto Armado

- Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_c$ ):

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c}$$

Donde:

$f'_c$  : Resistencia a compresión del concreto.

Para  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$   $E_c = 198\,431.35 \text{ kg/cm}^2$

Para  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$   $E_c = 217\,370.65 \text{ kg/cm}^2$

- Módulo de Rigidez al Cortante del Concreto (G):

$$G = \frac{E_c}{2.3}$$

Para  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$   $G = 86\,274.50 \text{ kg/cm}^2$

Para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$   $G = 94\,508.98 \text{ kg/cm}^2$

- Módulo de Poisson ( $\nu$ ):

$$\nu = 0.15$$

**Tabla 18:** Características del material de Concreto

<b>Peso Específico "<math>\gamma_c</math>":</b>	2400kgf/m <sup>3</sup>	
<b>Resistencia a la compresión "<math>f_c</math>"</b>	210kgf/cm <sup>2</sup> (21MPa)	175kgf/cm <sup>2</sup> (17.5MPa)
<b>Módulo de Elasticidad "<math>E_m=15000x\sqrt{f_c}</math>"</b>	217 370,65kgf/cm <sup>2</sup> (21 737,065MPa)	198 431,35kgf/cm <sup>2</sup> (19 843,135MPa)
<b>Módulo de Corte "<math>G_c=E_c/2.3</math>"</b>	94 508,98kgf/cm <sup>2</sup> (9 450,898MPa)	86 274,50kgf/cm <sup>2</sup> (86 27,450MPa)
<b>Módulo de Poisson "<math>\mu_c</math>"</b>	0,15 (Rígido)	

### 2.9.3. Acero de Refuerzo – Grado 60

**Tabla 19:** Características del material de Acero de Refuerzo - Grado 60

<b>Peso Específico "<math>\gamma_s</math>":</b>	7 850kgf/m <sup>3</sup>
<b>Esfuerzo de fluencia "<math>f_y</math>"</b>	4 200kgf/cm <sup>2</sup> (420MPa)
<b>Módulo de Elasticidad "<math>E_s</math>"</b>	2 000 000kgf/cm <sup>2</sup> (200 000MPa)



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta tesis, según (Cambell & Stanley, 1966), es una investigación del tipo cuantitativo pre-experimental.

##### DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Con diseño de pre-prueba, ya que se emplean deliberadamente dos variables independientes (vulnerabilidad y peligro sísmico) para determinar la consecuencia que la manipulación tiene sobre una variable dependiente (Riesgo Sísmico), dentro de una postura de control (Hernandez, Fernandez, & Batista, 2003).

#### 3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

##### 3.2.1. Características Generales

Los antecedentes del Centro Poblado de Salcedo nos indican que era una zona de expansión recreativa para la ciudad de Puno, llegándose en la actualidad a una población de más de 16,000 habitantes que comprende más de 4,000 familias, 24 urbanizaciones y 6 Asociaciones Pro Vivienda. Inicialmente se constituyó como pueblo; en el año 1996 Salcedo era una de las poblaciones asentadas en uno de los extremos de la ciudad de Puno, en la Zona sur teniendo una densidad promedio de 2hab/ha. Sus edificaciones eran de ladrillos y adobe con una cobertura de calamina, en regular y mal estado y de 1 y 2 pisos, sobre lotes de 120 a 140 m<sup>2</sup>, solo contaba con un servicio básico electricidad, se abastecían de agua a través de pozos, sus vías eran afirmadas. A partir del año 1997 se da inicio a la Gestión Municipal llevándose a cabo las primeras elecciones municipales



siendo su primer Alcalde el señor Carlos D. Chavez Tejada. La Municipalidad delegada de Salcedo fue creada mediante la resolución Municipal N° 028-099 MPP. Desde su fundación se desarrolla rápidamente, esto debido a la gran demanda de obtener una vivienda propia y a la falta de zonas de expansión para tal uso, en la ciudad de Puno. (Chate & Espillico, 2009)

El centro poblado de salcedo está ubicado al Sur del Este de la ciudad de Puno, a 5km de distancia de la Plaza de Armas, geográficamente está ubicada en Latitud Sur 15°51'11'' y Longitud Oeste 70°02'08''. Con una superficie total de 2,950.250 ha. Según el “Plan Director de Puno” elaborado por el instituto Nacional de Desarrollo Urbano desde septiembre de 1995- Donde considera a Salcedo como un Pueblo “Son Poblaciones asentadas en los extremos de la ciudad, en la Zona Norte (Yanamayo y Alto Puno y en la sur Salcedo)”. Y dentro de la Zona Urbana considera a Salcedo como una zona de Expansión Urbana considerando también en ella Zona Industrial liviana complementaria, no molesta.

### **3.2.2. Características Demográficas**

#### **Población Total**

Teniendo en cuenta las proyecciones hechas en cuanto a la población del año 2010, en los años, de 2007 al 2017, la población total del distrito de Puno se incrementó en 10,864 habitantes, teniendo una población de 262,350 habitantes. Lo que manifiesta un incremento de 8.48%.

En cuanto a la Zona de estudio, según el XI Censo de Población y VI de vivienda de 2007, la población total es de 4553 habitantes que comprende: ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Progrma Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Virgen las Mercedes. Teniendo en cuenta las proyecciones de población para el año 2019,



del 2007 al 2019, la población en la zona de estudio se incrementará en 396 habitantes, teniendo una población de 8401 habitantes para el año 2019.

### **Densidad Poblacional**

En la Zona de estudio que comprende ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Progrma Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Vrgen las Mercedes, tiene una densidad poblacional de 232.14 Hab/km<sup>2</sup>.

### **3.2.3. Características de la vivienda**

Es un espacio íntimo del humano, donde permanece más de la mitad de su vida. Espacio vital para tener un estilo de vida adecuada y confortable para la población, encuentra múltiples servicios, por tanto, la calidad de su construcción y la disponibilidad de los servicios y de su equipamiento, depende de un adecuado nivel de vida, por lo que se mostraran datos de las características de la vivienda de XII Censo de población, VII de Vivienda y III de comunidades indígenas de 2017.

**Tabla 20:** Material de construcción predominante en las paredes, techos y pisos del Distrito de Puno

V: Tipo de material predominante en las paredes exteriores	V: Tipo de material predominante en los techos	V: Tipo de material predominante en los pisos			
		Cemento	Tierra	Parquet, losetas o similares	Total
<b>Ladrillo o bloque de cemento</b>	Cemento Armado	44.78%	12.28%	9.69%	66.75%
	Calamina o fibra de cemento	6.13%	1.39%	3.20%	10.72%
	Material precario	0.31%	0.09%	0.05%	0.45%
	<b>Total</b>	<b>16.36%</b>	<b>24.83%</b>	<b>1.00%</b>	<b>77.92%</b>
<b>Adobe</b>	Cemento Armado	0.05%	-	-	0.05%
	Calamina o fibra de cemento	6.36%	6.13%	6.04%	18.53%
	Material precario	0.23%	0.25%	0.81%	1.29%
	<b>Total</b>	<b>6.64%</b>	<b>6.38%</b>	<b>6.85%</b>	<b>19.87%</b>
<b>Material precario</b>	Calamina o fibra de cemento	0.14%	1.72%	0.85%	1.71%
	Material precario	-	0.25%	0.25%	0.50%
	<b>Total</b>	<b>0.14%</b>	<b>3.23%</b>	<b>3.23%</b>	<b>2.21%</b>
<b>Total</b>	Cemento Armado	44.83%	12.28%	9.96%	66.80%
	Calamina o fibra de cemento	12.63%	8.24%	10.09%	30.96%
	Material precario	0.54%	0.59%	1.11%	2.24%
	<b>Total</b>	<b>58.00%</b>	<b>18.02%</b>	<b>23.98%</b>	<b>100.00%</b>

FUENTE: XII Censo de Población, VII de vivienda y III comunidades indígenas de 2017 (I.N.E.I.)

A nivel de distrito de Puno las viviendas de paredes de material de ladrillo y techos de cemento armado tiene un 44.78% pisos de cemento y viviendas de paredes de ladrillo y techos de material de calamina tiene un 12.28% pisos de tierra, lo que nos da una idea que un importante porcentaje de viviendas son de albañilería con condiciones regulares de habitabilidad.

### 3.2.4. Registro de datos de viviendas

La investigación se realizó en forma directa dentro del Área urbana catalogada como Residencial de Densidad media, que comprende (ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Programa Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Virgen las Mercedes), ubicado en el Centro Poblado de salcedo de la ciudad de Puno.

N°		Direccion		N° de pisos	Tipo de edificación		Techo		Ladrillo		Endentado (cm)	Dimensiones del Ladrillo (hxL)	e prom. de Junta		Entrepiso		Ancho de Columna (cm)	observaciones			
					C° A	Albañil. Adobe	C° A	Calam.	Artesanal	Industrial Perú Bolivia			horizontal (cm)	Vertical (Cm)	N° de hilados	Lado: Derecha y izquierda					
					DATOS ESTADÍSTICOS DEL CENTRO POBLADO SALCEDO																
					Ubicación: Jr. Los Claveles		FECHA: 23/09/2019													ZONA 2	
					VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA DE LA URBANIZACIÓN ENACE-PUNO, SIMULADOS NUMÉRICAMENTE EN ESCENARIOS SÍSMICOS																
1	B	01	1	x				x			8	8x24	3.5	3	3	26	30	1er kk cabeza			
2	B	02	2	x					x		6	8x24	3	3.5			25	1er kk cabeza, 2do 2h pandereta			
3	B	03	1	x					x		8	8x24	4	3	18		25	1er kk cabeza, 2h cabeza			
4	B	04	1	x					x		6	8x24	3	2.5			30	1er kk cabeza			
5	B	05	3	x						x	5	8x24	2.5	3			30	1er kk, 2do y 3ro 6H pandereta			
6	B	06	1	x					x			8x24	4.5	3				Cerco perimétrico			
7	B	07	3	x					x		6	8x24	3	2.5			25	1er kk sogá, 2do y 3ro 2H pandereta			
8	B	08	1	x					x			8x24	3.5	3				Cerco perimétrico			
9	B	09	2	x				x			6	8x24	2.5	4			25	1er kk sogá, 2do kk sogá			
#	B	10	3	x				x			5	8x24	3	3			25	1er kk cabeza, 2do y 3er 6 H			
#	B	11	3	x				x			6	8x24	3	3			25	1er kk, 2y3 pandereta artesanal.			
#	B	12	3	x				x			8	8x24	2.5	3			25	1er kk, 2do y 3er pandereta artesanal.			
#	B	13	2	x				x			6	8x24	3	3			25	1er kk, 2do pandereta artesanal.			
#	B	14	4	x				x			5	8x24	3	3			28	1er kk cabeza, 2do,3ro y 4to, 2H			
#	B	15	1	x								8x24						cerco			
#	B	16	3	x				x			6	8x24	2.5	3			25	1er kk artesanal, 2do pandereta Bolivia			
#	B	17	1	x								8x24						cerco			
#	B	18	3	x				x			6	8x24	3	4			25	1er kk cabeza, 2do 2H pandereta			
#	B	19	2	x				x			5	8x24	2.5	3			30	1er kk cabeza, 2do 2H pandereta			

Figura 18: Fragmento de Datos Estadísticos de las Viviendas de la Urbanización Enace Puno Centro Poblado de Salcedo Fuente: propia



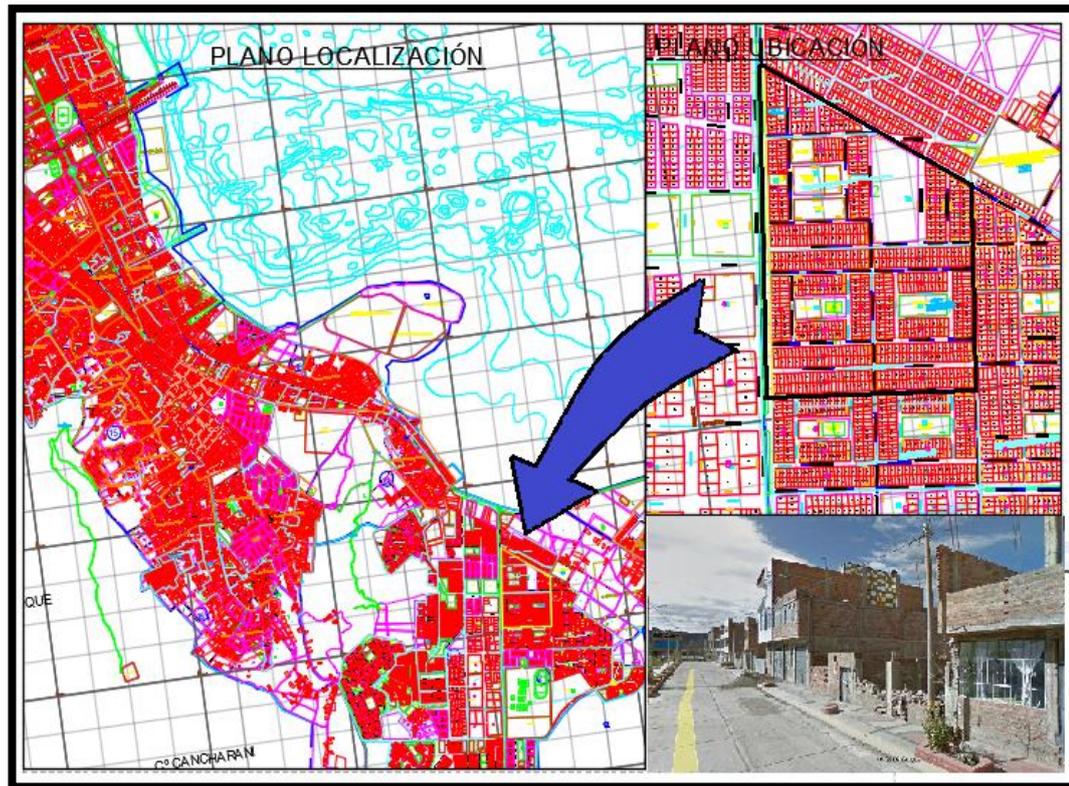
### **3.2.5. Estudios de la Zona de Investigación**

Centro poblado de Salcedo está ubicada al sur este de la ciudad de Puno a 5km de distancia de la plaza de armas de la ciudad Puno a través de la carretera Panamericana Sur y geográficamente está ubicado en latitud sur  $15^{\circ}51'11''$  y de longitud Oeste  $70^{\circ}02'08''$ . Los límites de la zona de estudio son por el Norte Reserva Nacional del Lago Titicaca, por el sur Club de Pueblo, por el este cerro Pitiquillani, por el Oeste avenida Don Bosco.

### **3.3. EXPLORACIÓN DE CAMPO**

La exploración de campo consistió en ejecutar una investigación de la zona de estudio que comprende: ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Programa Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Virgen las Mercedes, para lo cual se realizó un mapeo debido a que no contaba con esta información la municipalidad del Centro Poblado de salcedo, logrando de esta manera obtener información de la contabilización total de predios urbanos que se tiene.

Se procedió a desarrollar un inventario de viviendas obteniéndose la cantidad de manzanas que se tiene en el área de estudio que son un total de 30 manzanas, luego se determinó la cantidad de predios urbanos en el área de estudio, determinándose un total de 960 predios urbanos, dividiéndose en terrenos, viviendas de 1 nivel, 2 niveles, 3 niveles, 4 niveles, se observó construcciones de muro de ladrillo y concreto, con cobertura de calamina, techo de concreto armado losa aligerada.



*Figura 19. Ámbito de estudio*

### 3.4. VARIABLES

#### 3.4.1. Variable Independiente

##### **Vulnerabilidad Sísmica**

Es el grado de exposición o fragilidad de las edificaciones y población ante un evento sísmico de gran intensidad.

##### **Peligro sísmico**

Es la probabilidad de ocurrencia de uno o más eventos sísmicos, con potencial destructivo

#### 3.4.2. Variable Independiente

##### **Riesgo sísmico**



El riesgo sísmico está limitado por la convolución de dos parámetros: la amenaza sísmica o peligro sísmico y la vulnerabilidad sísmica. (Lantada, 2007). El peligro sísmico se define como una propiedad de un terremoto que puede causar daños y pérdidas. Y la vulnerabilidad sísmica es el valor probabilístico de daño en la estructura para posibles intensidades sísmicas.

### 3.4.3. Operacionalización de Variables

Tabla 21: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ITEMS
Independiente	Vulnerabilidad sísmica	Es el nivel de daño estructural que puede sufrir una estructura ante movimientos sísmicos.	Será medida a través del cálculo de la deriva máxima de entrepiso	Nivel de daño	- Ligero - Moderado - Severo - Colapso
	Peligro sísmico	Es la probabilidad de ocurrencia de uno o más eventos sísmicos	Será medida a través del análisis de la Respuesta sísmica de sitio	Nivel de amenaza sísmica	- Ligero - Moderado - Severo - Colapso
Dependiente	Riesgo sísmico	Es una medida que combina el peligro sísmico, con la vulnerabilidad y la posibilidad de que se produzcan en ella daños por movimientos sísmicos en un período determinado.	Será medida a través del cálculo de la vulnerabilidad sísmica, es decir, el daño que se espera sufra una estructura en un sismo; y el peligro sísmico, definido como la probabilidad de que un cierto parámetro que mide el movimiento del suelo (intensidad, aceleración, entre otros) sea superado en un determinado período de tiempo.	Nivel de daño esperado	- Ligero - Moderado - Severo - Colapso

### 3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

Para la determinación de la Población y Muestra se realiza un marco muestral que debe ser similar a la población, es importante que sea representativo de la población, donde todo elemento de esta debe aparecer enumerado solamente una vez. Una vez establecido este marco muestral representativo, el cual se ha aplicado para la Análisis y Evaluación de las viviendas en la zona de estudio.

**Tabla 22:** Total de predios urbanos con áreas constructivas de 2, 3 4 pisos

Total de edificaciones Urbanos	Total de edificaciones Urbanos con Áreas construidos de 2, 3 y 4 pisos de material Noble.
960	450 viviendas

En la zona de estudio, se ha determinado un total de 960 predios urbanos, de las cuales 450 son viviendas construidas de 2, 3 y 4 Pisos de sistema de concreto Armado y Albañilería las cuales fueron evaluados por tener una mayor incidencia en los procesos constructivos.

#### 3.5.1. Diseño de la muestra

La muestra es probabilística y estadística. El nivel de confiabilidad de los resultados muestrales es del 95%. Para el estudio, se han estratificado en tres niveles según el número de pisos que presentan (López Menardi, 2003).

- Estrato I: Viviendas construidos de albañilería Confinada de dos pisos.
- Estrato II: Viviendas construidos de albañilería Confinada de tres pisos.
- Estrato III: Viviendas construidos de albañilería Confinada de cuatro pisos.
- Estrato III: Viviendas construidos de Concreto Armado (Aporticado) de dos pisos.

### 3.5.2. Tamaño muestral

#### Muestreo probabilístico

La estimación del tamaño de la muestra ( $n$ ) será gracias a una expresión extraída del libro de César Pérez: Muestreo Estadístico: conceptos y problemas resueltos:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot P \cdot Q}{\varepsilon^2(N - 1) + Z^2 \cdot P \cdot Q} \quad (0-1)$$

**Tabla 23:** Valor del Margen de Confiabilidad.

Z	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.00	2.58
Margen de Confiabilidad	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

El tamaño de la muestra fue determinado considerando los criterios de una muestra probabilística aleatoria simple, con la finalidad de hacerlo representativa; para ello se creyó conveniente realizar un conteo de la manera más real de todas las edificaciones, para la cual se visitó toda el área que comprende la Urbanización Enace – Puno que se divide en: ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Progrma Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Virgen las Mercedes; de la cual se obtuvo un total de 450 viviendas de uno, dos, tres y cuatro pisos de albañilería confinada, todas estas viviendas fueron analizados según sus características, posteriormente se realizó un sorteo garantizando de esta manera que cada miembro o elemento (vivienda) de la población tenga igual probabilidad de ser seleccionado o incluido en la muestra.

Basándose en el estudio de Estrada y Valdivia (2010) en “Análisis y Evaluación de las edificaciones del Centro Poblado de Salcedo”, se obtuvo que las viviendas de



albañilería confinada de la Ciudad de Puno tienen riesgo sísmico de medio a alto con un 87%, entonces  $P = 0.87$

Se utilizó un coeficiente de confiabilidad de 95%, entonces  $Z = 1.96$ .

En el presente estudio se cree por conveniente utilizar un error del 10% entonces  $\epsilon = 0.10$ .

$N = 450$	Representa la cantidad de viviendas ubicados en la Urbanización Enace – CP Salcedo distrito Puno
$Z = 1.96$	El margen de confiabilidad se ha considerado como un 90%.
$P = 0.87$	Se considera que el 80% de las viviendas no cuentan con un diseño sismo resistente por lo tanto vulnerables.
$Q = 0.13$	Este valor se obtiene de $1 - P$ , representando el porcentaje de viviendas que cuentan con un diseño sismo resistente.
$\epsilon = 0.10$	Representa al error de estimación esperado.

$$n = \frac{450 \cdot 1.96^2 \cdot 0.87 \cdot 0.13}{0.10^2(450 - 1) + 1.96^2 \cdot 0.87 \cdot 0.13}$$

$$n = 8.218 \approx 9$$

### Características de la muestra

Para la realización de éste estudio, se tendrá que intervenir a las viviendas que cuenten con un sistema estructural de Concreto Armado (aporticado) y albañilería confinada, por observación el 90% de las viviendas son de albañilería confinada y 10% son viviendas de Concreto Armado, estas viviendas tienen que ser carentes de un diseño sismo resistente en su estructuración, las cuales son características que se presentan muy a menudo en la Urbanización Enace – CP Salcedo distrito Puno.

**Tabla 24:** Cuantificación de viviendas por número de pisos.

N° de pisos	Cantidad	Porcentaje
2	342	76%
3	98	21.78%
4	10	2.22%
Total	450	100%

Entonces tomamos como criterio de selección a 09 viviendas, en las cuales se observó que existe deficiencia de diseño sísmico resistente (vivienda autoconstruida), además cabe mencionar que la representatividad de las viviendas en la zona estudiada son de 2 niveles.

### **3.6. EVALUACIÓN GENERAL DE LA ZONA**

#### **3.6.1. Geología**

En general la Zona de Salcedo está ubicada geológicamente en la microcuenca de Puno, la cual está controlada por la depresión altiplánica entre la cordillera occidental volcánica y oriental metamórfico sedimentario, que a su vez se encuentra en la subunidad “Depresión central del altiplano”, que conforma la unidad geomorfológica regional llamada “Altiplano”, cuyo origen tectónico está llenado por depósitos lacustres y aluviales que se desarrollan sobre los 3800m de altitud.

El lugar presenta principalmente características de formación del Grupo Puno, dado que se ha podido observar depósitos cuaternarios, que consisten en conglomerados finos con intercalación de arenisca, y en los cerros circundantes de pendiente suave una secuencia de rocas volcánicas como andesitas y tufos.



### ***3.6.1.1. Geología local***

El centro Poblado menor de Salcedo se desarrolla dentro de un valle presentando su relieve terrestre plano con poca pendiente, formado por la presencia de ríos transitorios que discurren de la microcuenca Salcedo los mismos que transportan sedimentos finos y gruesos de las partes altas depositándose en las partes bajas del valle originando lechos meandriformes.

En la zona de estudio esta predominante constituido por suelo aluviales (Qr-al). Deposito aluvial (Qr-al) corresponden a depósitos de rellenos transportados por los causes principales que la quebradas y rellenos en la parte más baja de dichos causes formando estratos sensiblemente horizontales. En la zona de estudio se ha presentado superficialmente suelos limo – arenosos, con intercalaciones de capas de arenas limosas y arcillas. Estos suelos se encuentran reposando sobre las andesitas que afloran en las laderas. En la zona urbana se distinguen suelos aluviales (Qr-al). Ubicados hacia el Noroeste del área de estudio, constituido de arenas y arcillas limosas de color marrón a gris oscuro. Seguidamente se observan los suelos fluvialacustres (Qr- fl/la), cubiertos por turba que predominan superficialmente en gran extensión, caracterizados por materiales arcillosos de baja y mediana a alta en la zona cercana al lago, condición blanda y de color gris oscuro. Hacia la orilla del lago se describen suelos lacustres, en menor área de extensión de manera longitudinal y paralela a la panamericana sur está constituido por turbas y otros restos orgánicos que están constantemente inundados por aguas de escorrentía superficial de poca gradiente, lo cual ha generado que presentan arcilla orgánica de color gris oscuro. (Marca, 2010)

Hacia la orilla del lago se describe suelos lacustres, constituido por turba y restos orgánicos que están inundados por aguas estancadas; a su vez se caracteriza una Zona de suelos fluvio-lacustres saturados por aguas de escorrentía superficial de poca pendiente,



lo cual q generados bofedales que presentan arcillas. Por erosión de los estratos ocurren desplazamientos de rocas en las laderas y quebradas de la microcuenca que han generado suelos residuales de partículas de forma angular con inclusión de cantos y boloneras de diferentes tamaños. (Chate & Espillico, 2009)

### **3.6.2. Geotecnia del sub suelo**

La Geotecnia se define como la aplicación de los elementos básicos del suelo y de la mecánica, para la evaluación del comportamiento de los materiales térreos, generalmente usados en la investigación de ingeniería, diseño y construcción. Las características de los suelos dependen en la forma determinante de factores diferentes a su composición. Las experiencias locales previas son una guía irremplazable para orientar los estudios y a veces suficientes en casos sencillos. Sin embargo, no existe sustituto para la información objetiva, específica y precisa, obtenida a cada sitio.

Según el trabajo de tesis denominado “complejo Comercial Salcedo” el cual se ubica a inmediaciones del Municipio de Salcedo (Centro Cívico), menciona: Las infraestructuras residenciales existentes ubicadas en las cercanías del áreas del proyecto presentan un suelo de fundación de baja capacidad portante entre valores comprendidos de 0.50 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.00 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que el terreno de fundación es suelo arcillosos y con nivel freático alto en épocas de lluvia o avenida, teniéndose hacia la parte baja de la ubicación del proyecto zonas inundable. (Chate & Espillico, 2009)

De acuerdo al informe técnico correspondiente al estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para el proyecto “Mejoramiento del Complejo Deportivo Recreacional Salcedo – Puno”, el mismo ubicado en el Club del Pueblo a inmediaciones de la Cooperativa Simón Bolívar, se tiene los siguientes resultados: Para una profundidad de 1.2m ( $q_{adm}=1.26 \text{ kg/cm}^2$ ) y para una profundidad de 2m ( $q_{adm}=1.71 \text{ kg/cm}^2$ ). El



mismo informe concluye: El estrato de apoyo de la cimentación en el área de estudio, de acuerdo a los puntos de investigación corresponden a una conformación de suelos granulares, específicamente grava limosa, con partículas de grava de forma sub-redondeada; teniendo en la parte superior del estrato arcilla y limo arenoso y también concluye De acuerdo a observaciones in-situ y ensayos correspondientes en la zona donde se construirá el proyecto, se ha determinado que a partir de la profundidad de 2.00 m aproximadamente se presenta a un suelo más firme y de mejor estabilidad.

Según el informe estudio del terreno de fundación de “Construcción Pistas y Veredas Jr. Emancipación de la Municipalidad Provincial de Puno”, concluye: Los suelos orgánicos se encuentran en zonas de poca altura, donde el nivel freático está cerca de la rasante del terreno natural y la estratigrafía horizontal del terreno en el tramo tiene variaciones bruscas y también menciona Las características de los suelos identificados consiste de OH materiales que corresponden al terreno de fundación, el cual recomienda “Mejorar la subrasante mediante un enrocado”

### **3.6.3. Hidrología**

#### ***3.6.3.1. Hidrología Local***

Está caracterizada por la presencia del gran volumen de agua que presenta el Lago Titicaca, que por su superficie volumen y por su situación de altitud elevada en zona intertropical, una originalidad hidrológica en el mundo, el lago, en el territorio está enmarcado por dos cuencas Salcedo y Jayllihuaya. Diversos manantiales y aguas subterráneas nacen de las faldas del cerro Cancharani, cerro Condoruma, cerro Jayllihuaya y del cerro Pitiquilla, todos estos de poco caudal aumentando en épocas de lluvia; y diversos riachuelos eventuales que se forman solo en temporadas de lluvia, estos

desembocan en el lago Titicaca. Así mismo, aumenta el caudal hídrico en el territorio por las precipitaciones pluviales que van de los meses de octubre a marzo de cada año.

### ***3.6.3.2. Precipitación***

De las series históricas de las precipitaciones máximas para 24 horas, estas evidencias que, entre los meses de diciembre y marzo, son periodos de intensas precipitaciones, cuyos promedios totales de los 21 años tomados de la estación meteorológica de Puno, ubicado en las coordenados 15°50' latitud y 70°01' longitud, a una altitud de 3820 m.s.n.m. oscilan entre los 18.99mm y 22.74mm. (Cayro, 2010)



***Figura 20: Charcos de agua a causa de las precipitaciones pluviales***

***FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo***



*Figura 21. Se observa el deterioro de las unidades de albañilería debido a las precipitaciones pluviales*

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### **3.6.3.3. Temperatura**

La temperatura no es uniforme en toda la superficie terrestre, sus múltiples variaciones se deben entre muchas, a la latitud, distribución de los continentes y océanos, naturaleza del terreno, posiciones del planeta con respecto al sol y causas de carácter local.

La temperatura media registrada en la zona de Salcedo es  $8.75^{\circ}\text{C}$ ; registrándose temperaturas altas mayores al promedio en los meses de noviembre, diciembre y enero con  $10.26^{\circ}\text{C}$ ,  $10.74^{\circ}\text{C}$  y  $10.33^{\circ}\text{C}$  respectivamente y una disminución de temperaturas en los meses de junio con  $5.92^{\circ}\text{C}$  y julio con  $6.06^{\circ}\text{C}$ , variaciones típicas de las zonas del departamento de Puno comprendidas por debajo de los 4.000 metros de altitud. (Chate & Espillico, 2009)

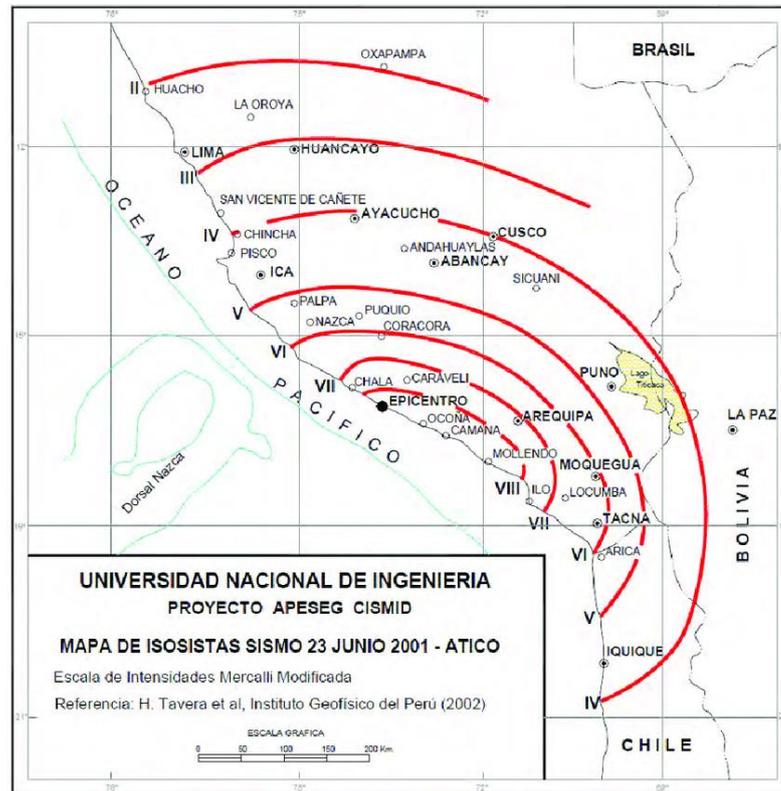
### 3.6.4. Sismicidad Histórica

Es importante mencionar que la región de Puno ha soportado la violencia de terremotos en los años 1687, 1747, 1928, 1958 y 2001. Para mayor detalle se presenta en la tabla N° 25. Para la mayoría de los sismos descritos se elaboró sus respectivos mapas de intensidades (isosistas), siendo dos de ellos los que afectaron con alta intensidad a la Región de Puno y corresponden a los sismos del 23 de junio de 2001 y del 21 de octubre de 1687.

**Tabla 25:** Datos Macrosísmicos de la Región Puno y Alrededores

<b>Fecha</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Localidades afectadas</b>
24-11-1604	VII	Tacna, Moquegua, Arequipa, Cusco y Puno
21-10-1687	VI	Arequipa, Cuzco, Puno, Moquegua
1747	IX	Ayapata- Departamento de Puno
18-09-1833	VI	Tacna, Moquegua, Arequipa y Puno
13-08-1868	VI	Arica, Arequipa, Tacna, Moquegua, Ica, Puno
09/04/1928	IX	Ayapata, Ollachea, Putina - Puno
26/02/1952	VI	Paruro, Cuzco, Puno, La Paz- Bolivia
15/01/1958	IX	Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno
19/07/1959	VII	Arequipa, Cuzco, Puno
16/02/1979	VII	Chuquibamba, Viraco, Omate, Mollendo, Ayaviri, Coracoto, Cabanillas, Calapuja
23/06/2001	VIII	Atico, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno
26/06/2016	V	Ayaviri, Puno
19/06/2016	V	Juli, Puno
01/06/2016	V	Puno - Taquilo
27/11/2016	V	Juli, Puno
01/12/2016	VI	Lampa, Parina

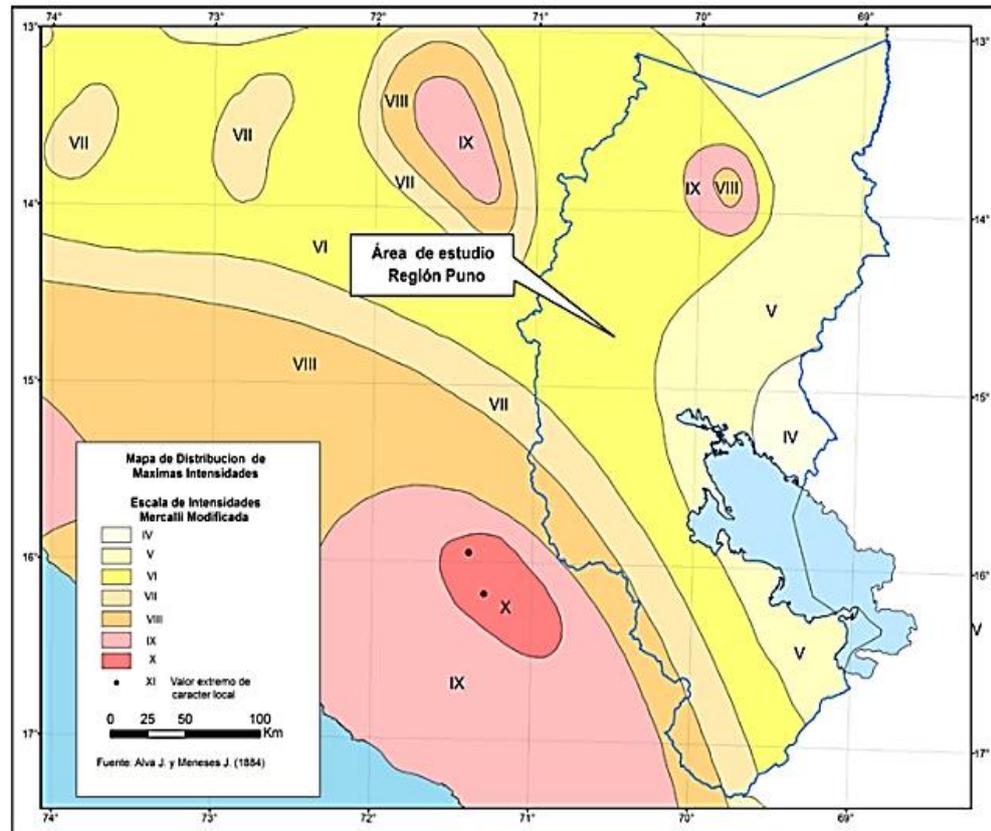
*Fuente: Silgado, 1978; IGP, 2016*



*Figura 22: Mapa de isosistas del sismo del 23 de junio 2001- Atico*

### 3.6.5. Distribución de máximas intensidades sísmicas

Dentro de la región de Puno se observa que prevalecen intensidades máximas del orden de VI (MM) localizados en el sector de las provincias de Carabaya, parte oeste de Sandía, Melgar, Azángaro, Lampa, San Román, Puno, El collao y Chucuito. Con valores de intensidades Máximas del orden de V (MM), prevalecen en las provincias de Sandia mayormente, en San Antonio de Putina, Azángaro, Huancané, Moho, Puno, El Callao Juli y Yunguyo. Para intensidades máximas del orden de IV (MM) se localiza solo en la provincia de Huancané sector este. Con intensidades máximas del orden de VII (MM) en Lampa, San Roman, Puno, El Collao y Chucuito. Con intensidades máximas igual y mayores a VII (MM) se localizan al extremo suroeste de Puno. (INGEMMET, 2020)



*Figura 23: Mapa de distribución de Máximas intensidades Sísmicas*

FUENTE: (IGP , 2014)

### 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.7.1. Peligro Sísmica

Para el desarrollo de este estudio se desarrollaron con la información de 9 sondeos de SPT, y se distribuyen de la siguiente forma:

- 3 sondeos en el sitio donde se ubica el Hospital Regional Manuel Nuñez butrón – Puno en Jayllihuaya
- 3 sondeos en el sitio donde se ubica en la Planta de tratamiento – Puno
- 3 sondeos en la Urbanización de Chejoña - Salcedo



Considerando los sondeos en estudio se obtuvieron información del Ngolpe, profundidad de la perforación, clasificación geotécnica del tipo de suelo en los estratos identificados.

Hay que tener en cuenta que de la información que se tuvo acceso, fueron facilitados como Ncampo y Ncorregido.

### **3.7.2. Vulnerabilidad Sísmica**

Para el desarrollo utilizamos la propuesta por Mosqueira, M y Tarque, N (2005) para simular edificaciones, en tal sentido para el desarrollo del proyecto se han realizado investigaciones de campo y teóricas. La investigación de campo consistió en la recolección de datos sobre las características de la mayoría de las viviendas y las encuestas realizadas por el investigador a viviendas de albañilería y concreto armado fueron seleccionadas de acuerdo a la tipología del porcentaje total de las viviendas. La investigación teórica incluye el desarrollo de las fichas de encuesta y de reporte.

Entonces el desarrollo para realizar la investigación se toma de la siguiente forma:

#### **a. Recolección de información bibliográfica**

Consiste en realizar la búsqueda de información sobre investigaciones de riesgo sísmico en viviendas de concreto armado y albañilería confinada. El documento que sirvió de base para esta investigación fue la tesis "Recomendaciones Técnicas para mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana" (Mosqueira, M. y Tarque, N. 2005).

**b.** Luego se procede a desarrollar las fichas para la toma de datos como son características de las viviendas, como también para el desarrollo de encuesta y posteriormente el reporte



Nuestras fichas de recolección de datos, Encuestas y de reporte de las viviendas fueron desarrolladas en hojas de cálculo Excel. Las fichas para la recolección de datos como son las características de las viviendas sirvieron para la evaluación de la edificación según el Reglamento Nacional de Edificaciones y las fichas de encuesta se utilizan para la obtención de información más detallada sobre las características constructivas de las viviendas de concreto armado como de albañilería. Las fichas de reporte se utilizaron para esquematizar la información recogida en las fichas de encuesta y así poder realizar el análisis del riesgo sísmico de las viviendas” (Arevalo, 2020) las cuales se adjuntan.

<b>VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA DE LA URBANIZACIÓN ENACE-PUNO, SIMULADOS NUMÉRICAMENTE EN ESCENARIOS SÍSMICOS</b>				
<b>FICHA TÉCNICA DE ENCUESTA</b>				
Vivienda N°:			Tipo de edificación:	
Entrevistador:			Tipo de sistema estructural:	
<b>1.- ASPECTOS INFORMATIVOS</b>			Fecha de inspección:	
<b>1.- ANTECEDENTES</b>				
Departamento: .....		Provincia: .....		
Distrito: .....		Direccion: .....		
Familia: .....		Cantidad de personas: .....		
Direccion tecnica en el diseño: .....				
Direccion tecnica en la construcción: .....				
Pisos construidos : .....				
Pisos proyectados: .....				
Antigüedad de la edificación: ..... años				
Peligros naturales que afectan la edificación: .....				
Topografía y geotécnia: .....				
Estado de la edificación: .....				
<b>2.- ASPECTOS TÉCNICOS</b>				
Parametros del suelo			observaciones	
Rigidos ( )	Intermedios ( )	Flexibles ( )		
<b>Elementos de la edificación:</b>				
Elementos	Características		observaciones	
Cimientos (m)	cimiento corrido			
	Zapata			
	Profundidad	Profundidad		
	Ancho	Seccion		
Sobrecimientos				
Muros (cm)	soga	cabeza		
	Artesanal		Industrial	
			Peru	Bolivia
	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta	
	Dimensiones	Dimensiones		
Techo (m)	Juntas			
	Diafragma rigido		Calamina	
	Tipo	Tipo		
Columnas (m)	Peralte	Peralte		
	Concreto		Otro	
	Dimensiones	Dimensiones		
Vigas (m)	Concreto		Otro	
	Dimensiones	Dimensiones		
otros				
<b>Deficiencias de la Estructura :</b>				
PROBLEMAS DE UBICACIÓN		PROBLEMAS ESTRUCTURALES		
<input type="checkbox"/> Edificación sobre suelo de relleno		<input type="checkbox"/> Densidad de muros inadecuada		
<input type="checkbox"/> Edificación sobre suelo no consolidado		<input type="checkbox"/> Muros sin viga solera de madera o concreto		
<input type="checkbox"/> Edificación con asentamiento		<input type="checkbox"/> Muros sin confinar resistentes a sismo		
<input type="checkbox"/> Edificación en ladera		<input type="checkbox"/> Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados		
<input type="checkbox"/> Otros		<input type="checkbox"/> Dinteles con reducida longitud de apoyo		
		<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrada		
PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS		<input type="checkbox"/> Torsión en planta		
<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas		<input type="checkbox"/> Edificación sin junta sísmica		
<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas		<input type="checkbox"/> Columnas cortas		
<input type="checkbox"/> Humedad de muros		<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la edificación		
<input type="checkbox"/> Muros agrietados		<input type="checkbox"/> Losa de techo a desnivel con el vecino		
<input type="checkbox"/> Muros expuestas a lluvia		<input type="checkbox"/> Otros :		
<input type="checkbox"/> Juntas de separacion entre viviendas				
<input type="checkbox"/> Combinación de ladrillo con adobe o tapial en muros		MANO DE OBRA		
<input type="checkbox"/> Union muro techo no monolítica		<input type="checkbox"/> Bueno	<input type="checkbox"/> Regular	
<input type="checkbox"/> Otros		<input type="checkbox"/> Mala		
		OTROS		
<b>3.- PELIGROS NATURALES POTENCIALES</b>				
<input type="checkbox"/> Sismos		<input type="checkbox"/> Lluvia y vientos		
		<input type="checkbox"/> Otros		

Figura 24: Ficha de Encuesta



<b>DIAGNOSTICO PRELIMNAR DE LA VIVIENDA INFORMAL</b> <b>FICHA DE REPORTE</b>										
									Vivienda N° :	
<b>Antecedentes:</b>										
<b>Ubicación:</b>										
<b>Dirección técnica en el diseño:</b>		Sí, Técnico de Sencico								
<b>Dirección técnica en la construcción:</b>		No, Maestro de Obra								
<b>Pisos construidos:</b>		2		<b>Pisos proyectados:</b>		3		<b>Antigüedad de la vivier</b>		6
<b>Topografía y geología:</b> Pendiente media, transversal a la vivienda. Suelo de arenoso										
<b>Estado de la vivienda:</b> Vivienda inicialmente construida de adobe. Se ha construido con Material Noble.										
Los muros son de amarre de sogá, no hay ningun muro de cabeza.										
El tercer piso hay muros sin arriostar que dan al ingreso de la vivienda.										
<b>Secuencia de construcción de la vivienda:</b> Primero se construyó la Sala Comedor y luego el segundo piso.										
<b>Aspectos técnicos:</b>										
<b>Elementos de la vivienda:</b>										
Elemento	Características									
Cimientos	Cimiento corrido de concreto ciclopeo de 0.90x0.45m, sobre terreno arenoso									
Muros	Ladrillo macizo artesanal cocido, 9x13x23, juntas 3 cm, muros sogá, h <sub>1</sub> =2.40, 2do piso ladrillo pandereta									
Techo	1er y 2do piso losa aligerada de 20cm,									
Columnas	13 de 0.15x0.30m y 2 de 0.60x0.15									
Vigas	Longitudinales de 0.15x0.20m y transversales de 0.20x0.30m									
<b>Deficiencias de la estructura:</b>										
Problemas de ubicación:					Problemas constructivos:					
Suelo de arenas sueltas / con pendiente ligera					Ladrillos artesanales					
					falta recubrimiento en refuerzo vertical					
Problemas estructurales:					junta fría en columna/viga					
Ausencia de junta sísmica					pequeñas cangrejas					
Falta de juntas laterales entre viviendas / Losa punzocortante					Mano de obra:					
Tabiquería no confinada: voladizo fachada principal y muros laterales					Regular					
Tabiques sin arriostar en azotea					Otros:					
					Armaduras expuestas y corroidas					
<b>Análisis por sismo (Z=0.4g, U=1, C=2.5, R=3)</b>					Resistencia característica a corte (kPa): v'm = 510					
Factor de Suelo S = 1.4					VR=Resistencia al corte(kN) = Ae(0.5v'm.α+0.23fa)					
Area	Cortante Basal		Area de muros			Densidad	Resistencia	VR/V		
Piso 1	Peso acum.	V=ZUCSP/R	Existente:Ae	Requerida:Ar	Ae / Ar	Ae/Area piso 1	VR		Resultado	
m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Adimensional	%	kN	Adimensional		
<b>Análisis en el sentido "X"</b>										
103.2	11.83	570.0	0.0	2.3	0.0	0.0	-	--	<b>Inadecuado</b>	
<b>Análisis en el sentido "Y"</b>										
103.2	11.83	570.0	5.5	2.3	2.4	5.3	-	--	<b>Adecuado</b>	
<b>Observaciones y Comentarios</b>										
Solo se calcula VR si 0.80<Ae/Ar<1										

Figura 25: Ficha de Reporte

c. Proceso de datos

Una vez desarrollado el proceso de las tomas de datos y las encuestas se realizó el llenado de las fichas de reporte. En estas fichas se procede a resumir y agrupar los errores arquitectónicos, estructurales y constructivos de cada vivienda encuestada.

VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA DE LA URBANIZACIÓN ENACE-PUNO, SIMULADOS NUMÉRICAMENTE EN ESCENARIOS SÍSMICOS																	
DATOS ESTADÍSTICOS DEL CENTRO POBLADO SALCEDO															FECHA:	23/09/2019	ZONA 2
Ubicación: Jr. Geraneos															Lado:	Derecha	
Nº	Direccion		Nº de pisos	Tipo de edificación			Techo		Ladrillo		Endentado (cm)	Dimensiones del Ladrillo (hxL)	e prom. de Junta		Entrepiso N° de hilads	Ancho de Clumna (cm)	observaciones
	Mz	Lote		Cº A	Albañil.	Adobe	CºA	Calamina	Artisanal	Industrial Perú Bolivia			horizontal (cm)	Vertical (Cm)			
1	C	01	2		X		X		X		6	24	3	3		1er nivel k k artesanal (cabeza), 2do nivel pandereta de 2H	
2	C	02	1													Cerco de calamina	
3	C	03	3		X		X		X		5				25	revestido - 1er nivel king kong artesanal, 2do nivel pandereta de 2H	
4	C	04	2		X		X		X		5				25	1er piso revestido, 2do piso pandereta	
5	C	05	1		X		X		X						29	30	
6	C	06	1			X											cerco perimetrico - king kong (0cabeza)
7	C	07	1		X		X		X			24	3	2.5	26	25	cerco de ladrillo
8	C	08	1			X											cerco de adobe armado
9	C	09	1			X											cerco de adobe armado
10	C	10	1		X												cerco de bloqueta
11	C	11	1														Cerco de calamina
12	C	12	2		X		X		X		6	24	3	2.5	27	30	1er kk artesanal, 2do pandereta Boliviano
13	C	13	3		X		X		X		6	24	3	2.5	27	30	1er kk artesanal, 2do pandereta artesanal y 3er piso Boliviano
14	C	14	2		X		X		X		6	24	3	2.5	27	30	1er kk artesanal, 2do pandereta artesanal
15	C	15	1		X		X		X			24	3	2.5	27	30	En construccion
16	B	20	1														Cerco de calamina
17	B	21	2		X		X		X		4	24	3	2.5	28	30	1er kk, 2do pandereta boliviano

Figura 26. Hoja de Clasificación de edificaciones según sus características

3.7.2.1. Ficha para la evaluación de las construcciones de Concreto Armado y Albañilería

Resultados de la ficha de Evaluación Técnica

La recolección de información para la ficha de evaluación técnica, se realizó con la participación directa del investigador y encuestados, lo cual nos permitió observar y evaluar las deficiencias en los procesos constructivos de las viviendas ya existentes, las zonas de estudio están constituida por: ENACE Aziruni I, Asoc. Adj. 1er Progrma Munic. De Vivienda – Salcedo, ENACE Villa los Pinos, ENACE Virgen las Mercedes; así mismo, se tomaron muestras sobre la calidad de concreto con que fueron construidos, los

elementos estructurales de viviendas de Concreto Armado y albañilería confinada, mediante métodos no destructivos (esclerómetro), en las viviendas donde los propietarios accedieron amablemente a la realización de este ensayo.

Para la obtención de datos mediante la ficha de evaluación técnica se consideraron varios aspectos: Aspectos Post – constructivos, Entorno y Aspectos geométricos, llegándose a obtener los resultados que se detallan a continuación.

#### a. Calidad de las juntas de adherencia con el mortero

**Tabla 26:** Calidad de juntas de adherencia con el mortero

	Espesor de juntas	Uniformidad de espesor	Juntas al ras del contorno
Ideal	0%	2%	6%
Aceptable	17%	31%	61%
Mala	83%	67%	33%
Total	100%	100%	100%



**Figura 27.** Junta de más de 2.5 mm.

El 83% de las viviendas presentan una mala ejecución ya que el espesor de juntas horizontales y verticales está por encima de 2.5cm, 17% tienen juntas entre 1.5cm y 2.5cm

siendo aceptables. Para la uniformidad de espesor de juntas, se apreció, 67% tienen una mala ejecución, las juntas no son uniformes, 31% son aceptables, y 2% tiene uniformidad de juntas ideal.

### b. Calidad y disposición de las unidades de Albañilería

**Tabla 27:** Calidad y Disposición de las unidades de Albañilería

	Ladrillos aparejados y traslapados	Colocados de manera Uniforme y Continua	Calidad de los ladrillos
Ideal	2%	2%	2%
Aceptable	88%	85%	68%
Mala	10%	13%	30%
Total	100%	100%	100%



**Figura 28.** Ladrillos mal aparejados y diferente tipo de ladrillo

- **Ensayo Post – Construcción Evaluación del concreto viejo – uso del esclerómetro.**

Considerando que los ensayos no destructivos para determinar la resistencia y calidad del concreto endurecido es una herramienta muy fundamental, pero sabemos que en ningún caso reemplazan a los destructivos. Esta técnica es aplicada con el fin de

diagnosticar el elemento en estudio ya sea por su calidad o por esfuerzos o ataques de elementos agresivos al concreto. En el conjunto de los métodos no destructivos, los de dureza superficial son los más generalizadores, por su economía y facilidad de ejecución, entre ellos se encuentra el método del esclerómetro es recomendado y empleado por números países

**Resultados obtenidos en la evaluación con el Esclerómetro.**

**Tabla 28.** Valores del esclerómetro para el ensayo

R	ANGULO DE IMPACTO			CILINDRO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION $f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	B	A	C	
	Kg/cm <sup>2</sup>			
	$\alpha = -90^\circ$ ↓	$\alpha = -0^\circ$ →	$\alpha = +90^\circ$ ↑	
20	143			
21	156	112		
22	168	124		
23	182	138		
24	196	151		
25	213	163		
26	225	177	112	
27	239	189	125	
28	254	204	141	
29	268	220	154	
30	286	234	168	
31	300	250	184	
32	316	265	200	
33	335	284	214	
34	347	297	230	
35	368	316	245	
36	385	336	263	
37	400	354	278	
38	418	373	294	
39	438	388	315	
40	456	408	331	
41	476	428	350	
42	495	442	370	
43	510	459	390	
44	530	479	413	
45	549	500	433	
46	570	518	452	
47	586	534	474	
48	612	555	497	
49	630	573	515	
50	645	591	534	
51	664	612	556	
52	682	634	574	
53	702	654	598	
54	Porcentaje 714	675	621	
55	Porcentaje 714	695	638	



*Figura 29. Toma de resistencia a columna*



*Figura 30. Cuadrilla para el esclerómetro min de 10 puntos en una columna*



## **3.8. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

### **3.8.1. Peligro Sísmico**

#### **3.8.1.1. *Procesamiento de datos***

Inicialmente se hace una descripción de los datos utilizados en el presente estudio; luego procedemos a describir el desarrollo para determinar las de velocidades de onda, hasta una profundidad mínima de 30 m, mediante el uso de correlaciones empíricas en relación de Ngolpe de las pruebas de penetración estándar (SPT). Posteriormente, se desarrolla el esquema de procesamiento para la evaluación de la respuesta de sitio y determinación de los espectros elásticos de respuesta, utilizando el software DEEPSOIL V7.0; teniendo en cuenta las características propias de cada sitio. Finalmente, estos resultados se pueden usar para análisis dinámico y diseño de estructuras, entonces procedemos a modelar en el software ETABS 18 nuestras edificaciones tipo, utilizando la respuesta sísmica para cada edificación y obtener los comportamientos de las edificaciones en distintos escenarios sísmicos.

#### **3.8.1.2. *Evaluación de modelos de velocidades de onda de corte ( $V_s$ )***

Las relaciones entre la velocidad de la onda de corte, el conteo de golpes de la Prueba de Penetración Estándar (SPT) y las propiedades del suelo se evaluaron como funciones de la profundidad. Para determinar  $V_s$  se encontró correlaciones empíricas en relación del Ngolpe de las pruebas de SPT).

**Tabla 29.** Correlaciones empíricas usadas en este estudio para evaluar Vs en función de Ngolpe del SPT

Autores	Suelos cohesivos	Suelos no cohesivos	Todo tipo de suelos
Ohta y Goto (1978)	-----	-----	$85.34N^{0.348}$
Hasancebi y Ulusay (2007)	$97.89N^{0.269}$	$90.82N^{0.319}$	-----
Uma Maheswari et al. (2010)	$89.31N^{0.358}$	-----	-----
Anbazhagan et al. (2012)	$106.63N^{0.39}$	-----	-----
Lee (1990)	-----	$57.4N^{0.49}$	-----
Imai y Fumoto (1975)	-----	$89.8N^{0.341}$	-----

**A) Evaluación de velocidades de onda de corte**

El procedimiento para determinar las velocidades de onda de corte se desarrolló para cada uno de las pruebas SPT, tanto para Ngolpe de campo y corregido. Este procedimiento se hizo en tablas de Excel 2016 mostrando en la siguiente (Figura 31.).

SPT (Promedio)		CORRELACIONES				
Profundidad	N(Golpes)	Lee(1990)	Imai y Fumoto (1975)	Hasancebi y Ulusay (2007)	Ohta y Goto (1978)	Vs Prom (campo)
-2.10	3	98	131	129	125	128
-2.25	3	98	131	129	125	128
-2.40	6	138	165	161	159	162
-2.55	7	149	174	169	168	170
-2.70	12	194	210	201	203	205
-2.85	18	237	241	228	233	234
-3.00	20	249	249	236	242	242
-3.15	12	194	210	201	203	205
-3.30	12	194	210	201	203	205
-3.45	6	138	165	161	159	162
-3.60	2	81	114	113	109	112
-3.75	1	57	90	91	85	89
-3.90	1	57	90	91	85	89
-4.05	3	98	131	129	125	128
-4.20	6	138	165	161	159	162
-4.35	6	138	165	161	159	162
-4.50	4	113	144	141	138	141
-4.65	3	98	131	129	125	128
-4.80	3	98	131	129	125	128
-4.95	7	149	174	169	168	170
-5.10	8	159	182	176	176	178
-5.25	7	149	174	169	168	170
-5.40	2	81	114	113	109	112
-5.55	0.5	41	71	73	67	70
-5.70	0.5	41	71	73	67	70

**Figura 31.** Evaluación de velocidades de onda de corte en Microsoft Excel 2016

Se hizo cálculos para cada Ngolpe obtenidos del SPT, y considerando estratos de 0.25, 0.30, 0.45 y 0.50 m de espesor. Luego para determinar la velocidad de onda en cada

estrato, primero tenemos que obtener el promedio de las velocidades estimadas con las correlaciones empíricas.

**B) Modelos de velocidad de onda de corte.**

Para continuar con el procedimiento, según (NEHRP, 2003) es importante tener las características del suelo de al menos una profundidad de 30 m como mínimo. Nuestros datos encontrados, representa una información muy limitada; porque nuestras perforaciones llegan máximo a 10 m de profundidad en la Zona del Hospital Manuel Nuñez Butron – Jallihuaya, y 5 m en Chejoña. Entonces por la poca profundidad

de exploración que tenemos, fue necesario usar hipótesis en función de los datos disponibles; estas hipótesis nos ayudaron a determinar valores de Vs hasta 30 m de profundidad, y así obtener una correcta clasificación de sitio y determinar los espectros elásticos de respuesta esperadas. Este procedimiento consiste en proyectar las velocidades de onda de corte mediante las correlaciones empíricas hasta 30 m de profundidad.

- **Pendiente Promedio.**

En esta hipótesis se observa que aumenta la velocidad de onda en función de la profundidad, en pendiente continua. Entonces para determinar la pendiente con la que crece la Vs se determina el promedio de cada uno de los estratos de 0.45 m de espesor, con la siguiente expresión:

$$Pendiente = \frac{0,45}{(V_{S_{i+1}} - v_{S_i})} \quad (0-2)$$

- **Pendiente directa.**

A diferencia con la hipótesis anterior, mediante la velocidad determinada en el primer estrato y la velocidad determinada para el estrato más profundo, se calcula una sola pendiente; este cálculo se desarrolla con la siguiente expresión:



$$Pendiente = \frac{H}{(V_{s_n} - v_{s_1})} \quad (0-3)$$

- **Proyección de Vs.**

Mediante esta hipótesis planteamos que la velocidad de onda calculada en el último estrato, podemos decir

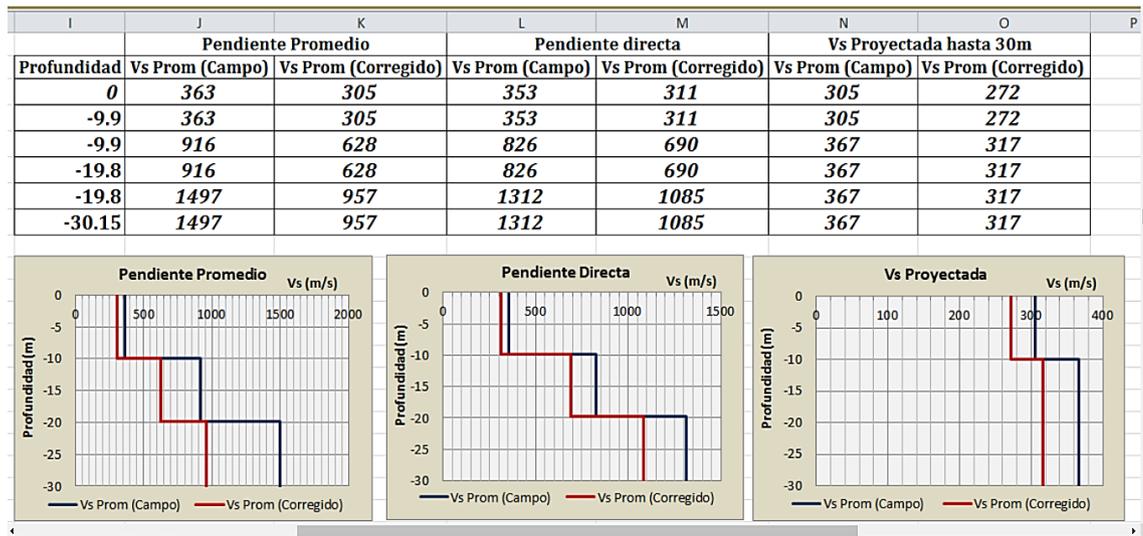
que a mayor profundidad se encuentra la prueba SPT, la velocidad de onda se mantiene constante hasta una profundidad de 30m.

### **Modelos Vs.**

Se estimó las velocidades de onda hasta una profundidad de 30m. Este se determinó mediante el cálculo de promedios. Como primer paso, se calculó el promedio de Ngolpe de los estratos de igual profundidad, en cada sitio de las pruebas. Después se calculó el promedio de las velocidades estimadas con las correlaciones empíricas de cada estrato.

Después de estimar las velocidades de onda para cada sitio, utilizamos las tres hipótesis planteadas, para determinar las velocidades de hasta 30m de profundidad, esto para estratos de 0.25m, 0.45m, 0.50m porque el SPT nos brinda información del número de golpes para estratos de este espesor.

Para desarrollar un procesamiento práctico y tener un perfil de modelo Vs cercano a la realidad, el modelo de Vs constará de 3 estratos se estimó la Vs calculando la velocidad promedio de 9.9 m de profundidad hasta los 30 m, Hospital Manuel Nuñez Butron y Planta de tratamiento Puno; ya que en el GEOCATMIN (sistema de información geográfica) se tiene un modelo de referencia y se proyecta Vs hasta determinar una velocidad mayor a 750 m/s.



*Figura 32. Modelos de velocidad de onda de corte (Vs) encontrados*

### 3.8.1.3. Evaluación de la respuesta sísmica de sitio.

Una vez determinados los modelos de velocidad de onda de corte mediante las hipótesis planteadas. Con el software DEEPSOIL escogiendo el método Análisis Equivalente lineal, procedemos a realizar el análisis de la respuesta sísmica de sitio. Y para la evaluación de la respuesta sísmica se utilizaron registros sísmicos encontrado en la base de datos del software DEEPSOIL. Se muestran los registros sísmicos utilizados en la Tabla 30

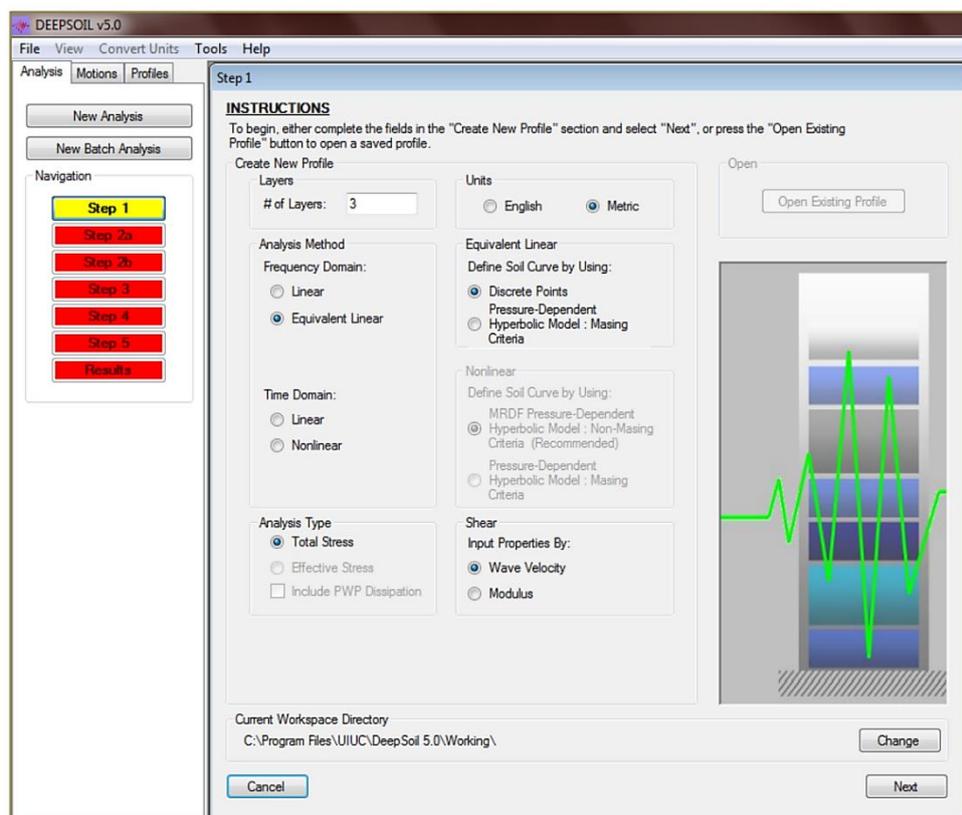
**Tabla 30:** Descripción de sismos utilizados en la evaluación de la respuesta sísmica de sitio

Nombre del sismo	Fecha del sismo	Magnitud	Distancia al punto de Ruptura	clasificación de sitio (USGS)	PGA (g)
<b>Mammoth Lake</b>	25/05/1989	6.3	15.5	A	0.430
<b>Nahanni</b>	23/12/1985	6.8	16.0	A	0.148
<b>Northridge</b>	17/01/1994	6.7	26.8	A	0.217
<b>Northridge 2</b>	17/10/1994	6.7	43.4	A	0.098
<b>Whittier Narrows</b>	01/10/1987	6.0	21.2	A	0.160

### *Análisis equivalente lineal*

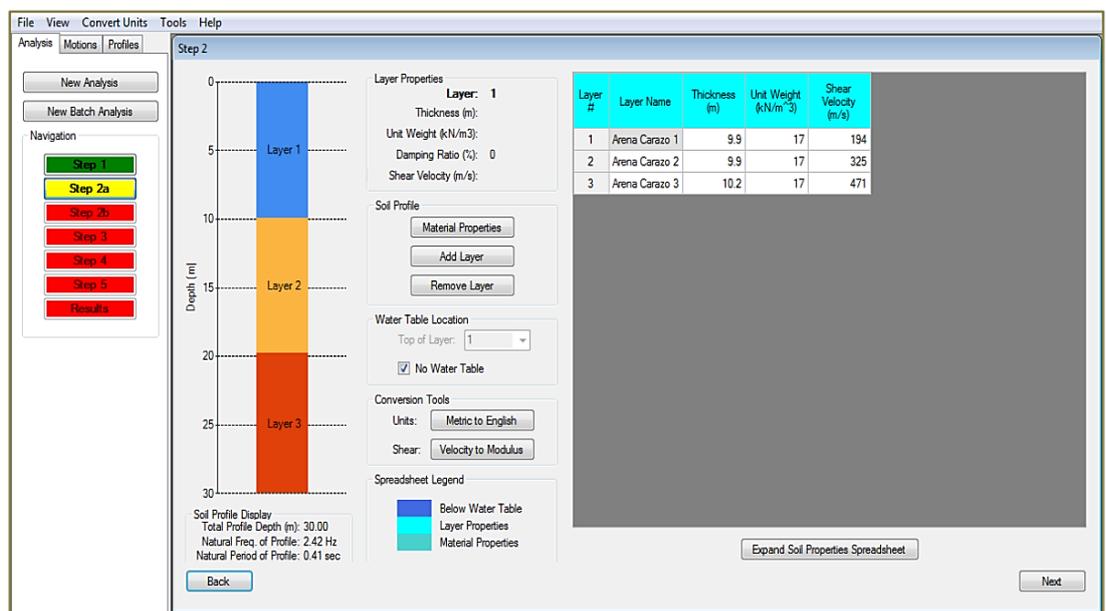
Una vez elegidos los registros sísmicos que se usaran para determinar la respuesta sísmica empezamos a trabajar con el software DEEPSOIL donde desarrollamos un análisis equivalente lineal, se detalla a continuación.

- a. Primero definimos el tipo de análisis que queremos realizar; donde elegimos el análisis equivalente lineal en dominio de frecuencia. Donde introducimos la cantidad de estratos que tenemos en la estratigrafía, posteriormente se define las propiedades de los suelos donde estos estarían de acuerdo a la velocidad de onda de corte. Después definimos el modelo de las curvas dinámicas del terreno, así como el modelo de puntos discretos.



*Figura 33. Interface gráfica del software DEEPSOIL. Se introducen los parámetros del análisis.*

- b. En Segundo lugar, se procede a introducir las características geotécnicas de la estratigrafía de los suelos en estudio, tales como las velocidades de corte  $V_s$  en cada estrato, espesor y peso volumétrico. Una vez colocadas estas características del suelo en el software, se comienza a determinar las curvas dinámicas de los suelos, con el fin de obtener las características dinámicas del suelo.



*Figura 34. Interface gráfica de DEEPSOIL. Se insertan las características de la estratigrafía del sitio.*

- c. Como tercer paso, se determinan las propiedades y características mecánicas del estrato rocoso. El basamento se consideró como un semi-espacio elástico o semirrígido, con un 2% de amortiguamiento. Donde consideramos que la velocidad de onda de corte para el basamento se definió en 750 m/s, para Hospital Manuel Nuñez Butron – Jallihuaya, a diferencia de los demás, donde se estimaron  $V_s$  mayores para el basamento.

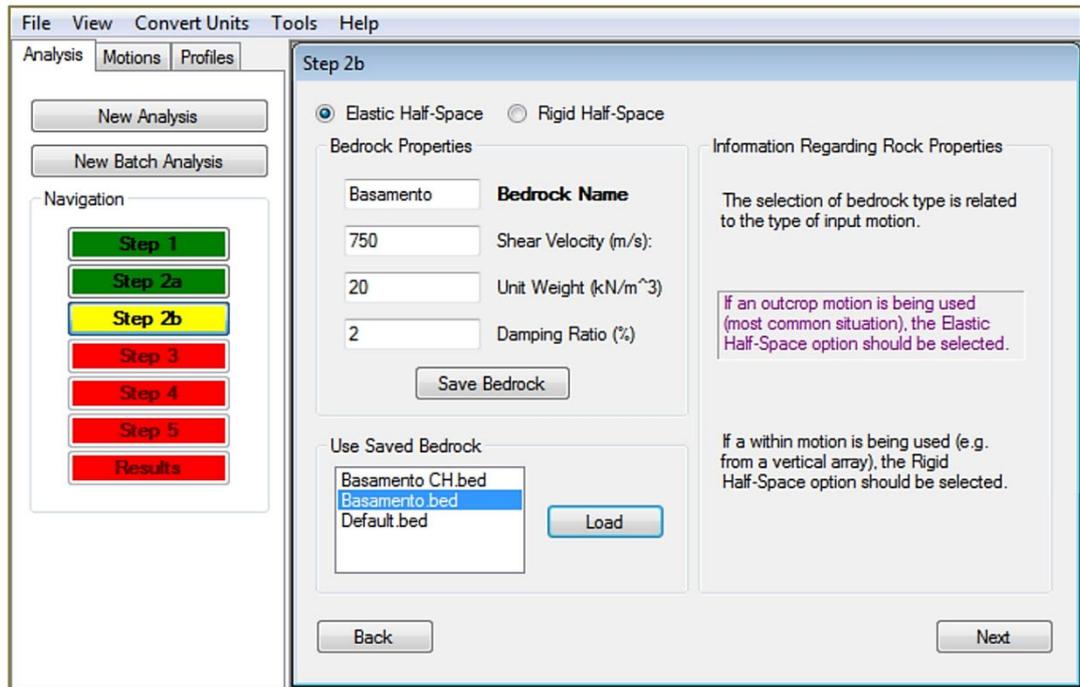


Figura 35. Características y propiedades del basamento

- d. Por ultimo empezamos a elegir los registros sísmicos que se utilizaron para realizar el análisis, y se generó con el programa los espectros de respuesta elástica, determinados con el método recomendado por el software, promoviendo un amortiguamiento del 5%.”

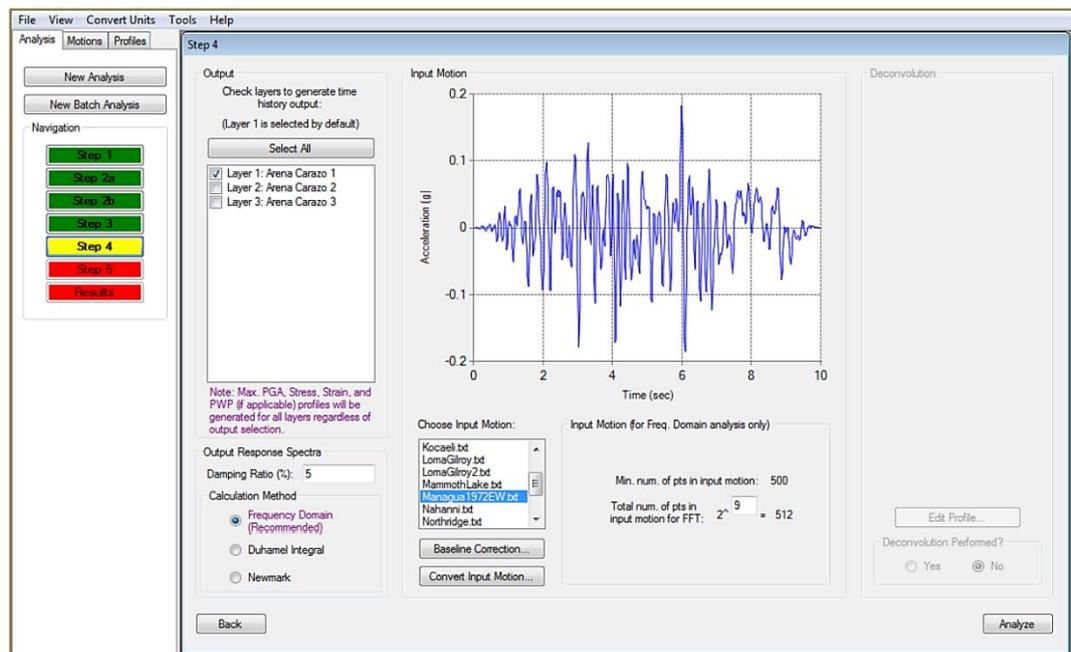
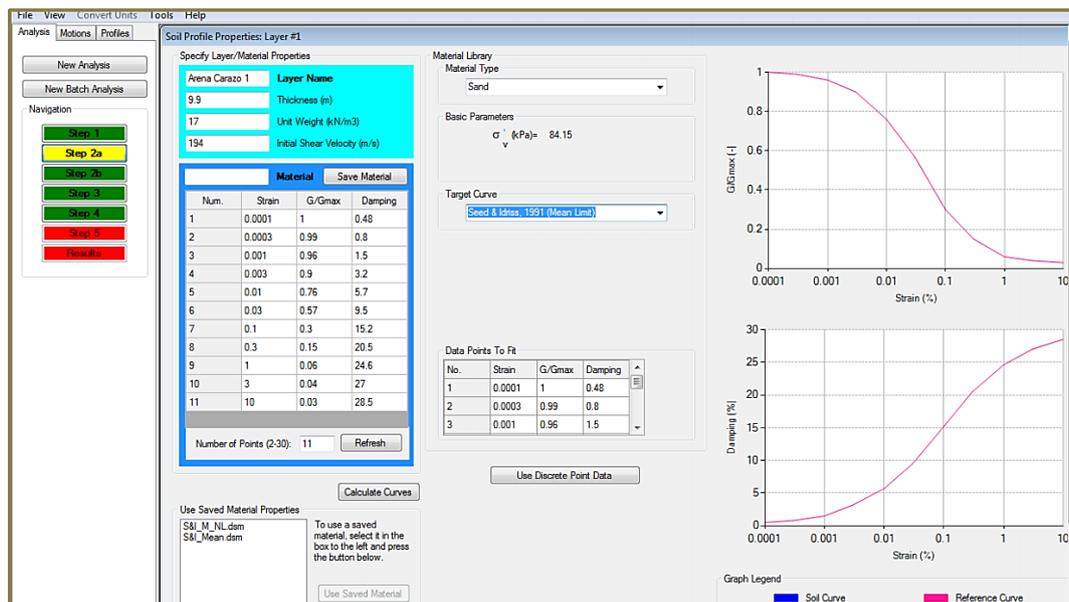


Figura 36. Selección de registro sísmico

Luego, para poder calcular “las curvas dinámicas de los suelos”, se realiza el siguiente procedimiento:

- a. En MNB - Hospital se eligió como curva de referencia la definida por (Seed & Idriss, 1991); ya que en estos sitios se presentan suelos granulares o no cohesivos. En Planta de tratamiento Puno y en Chejoña la curva de referencia es la definida por (Vucetic & Dobry, 1991); ya que en este sitio existen suelos arcillosos con un índice de plasticidad de 35.5%.
- b. Posteriormente se determinaron las curvas de reducción y el amortiguamiento, incluyendo los factores de reducción.
- c. Finalmente se ajustaron las curvas dinámicas del suelo de estudio con las teóricas, y se guardaron para cada tipo de suelo según sus características.



**Figura 37.** Determinación de curvas dinámicas de los suelos

### ***Espetros de respuesta elásticos***

Una vez desarrollado el análisis en DEEPSOIL y obtenidas las aceleraciones espectrales (PSA) en función del período, se exportan los datos al programa Excel para



determinar los resultados de manera gráfica. Luego se juntaron los espectros determinados en cada sitio.

Se calculó un espectro suavizado para cada sitio, para los espectros determinados mediante el análisis de los diferentes sistemas, siguiendo la técnica establecido en la Norma E030.

### **3.8.2. Vulnerabilidad Sísmica**

#### ***3.8.2.1. Desarrollo del procedimiento***

##### **COMPORTAMIENTO SÍSMICO:**

En esta subsección se analiza teóricamente el comportamiento sísmico horizontal y vertical.

En cuanto a la resistencia sísmica, existen dos inconvenientes relevantes: no existen resultados experimentales (aparte de los ensayos de martillo Schmidt para el concreto en columnas y daño observado para tipologías similares y la resistencia de las construcciones es altamente poco confiable). Por lo tanto, solo se pueden conjeturar conclusiones preliminares; se requiere fuertemente una verificación experimental y sus características se describen al final de esta subsección. Sin embargo, los análisis realizados en esta subsección son útiles ya que proporcionarán una valiosa comprensión del comportamiento sísmico de las edificaciones.

No se han considerado factores de seguridad; se ha adoptado esta elección por las siguientes razones: el comportamiento real es de interés y, dado que la acción sísmica es considerada por la mayoría de las regulaciones mundiales como accidental, los factores de seguridad y combinación suelen ser iguales a 1. Un factor importante La excepción es la carga viva, solo un porcentaje dado de la misma 25% según el código sísmico PERUANO se supone que está presente en caso de sismo.

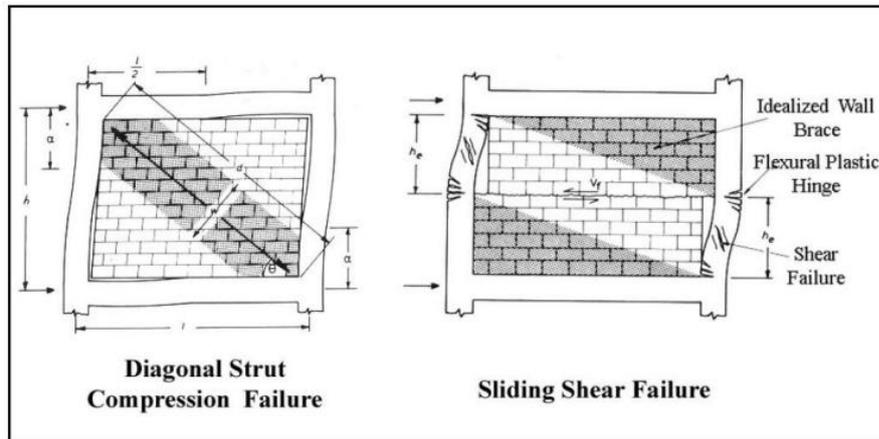
### *Modos de falla*

Los modos de falla identificados para muros de albañilería se describen en:

Los muros de albañilería son mucho más rígidos (en la dirección horizontal) que los pórticos de concreto armado (de hecho, son extremadamente flexibles). Significa que, antes de cualquier daño, la mayoría de las fuerzas laterales son soportadas por los muros y no por los marcos. Para fuerzas mayores (correspondientes a terremotos más intensos), son posibles varios modos de falla (globales o locales):

1. Falla por cortante de los muros acompañada de falla por cortante o flexión del pórtico. Este modo describe la falla de la mampostería a lo largo de capas de mortero horizontales, generalmente a la mitad de la altura del panel.
2. Falla por compresión de la biela diagonal de los muros (que son coplanares con el pórtico, es decir, no en voladizo) acompañada de falla por cortante o flexión del pórtico.
3. Falla fuera del plano de los muros sin confinar.
4. Desprendimiento de los techos (ligeros) de los elementos de soporte.
5. Colapso de elementos verticales sin puntales (en voladizo y verticalmente discontinuos) paredes.

Los dos primeros modos de falla se describen en la Figura. Las características más relevantes para cada uno de los posibles modos de falla individuales, así como sus combinaciones, se describen en las siguientes subsecciones.



*Figura 38: Modos de falla global*

La figura (izquierda) muestra que la resistencia del modo de falla por compresión de la biela diagonal está acotada superiormente por la resistencia al corte de las columnas.

Es notable que la falla por cortante a través de grietas bastante diagonales no se tenga en cuenta, ya que tales fisuras seguirían las juntas de mortero y, por lo tanto, se requeriría más energía (para romper las juntas verticales).

Se pueden descartar otros posibles modos de falla:

- Falla fuera del plano de los muros confinados. Estas paredes están más bien confinadas y comprimidas verticalmente; por lo tanto, es improbable que esta falla sea anterior a la del plano.
- Falla en el plano (cortante horizontal o compresión de puntas diagonales) de las paredes descubiertas. La resistencia fuera del plano de estos muros es muy pequeña (ya que ambos están lateralmente libres y sin comprimir) y claramente significativamente menor que la del plano.
- Falla a tracción de las columnas. Es inviable ya que las relaciones de aspecto de elevación de las edificaciones son bajas y las masas son pequeñas.



- Agrietamiento diagonal por tracción de los muros. Esto no se considera propiamente una falla ya que la construcción mantiene prácticamente toda su capacidad resistente.
- Desprendimiento de las losas de los marcos de soporte. Esta posibilidad es inviable ya que las losas son rígidas en su propio plano (principalmente por la capa superior de concreto) y están encajonadas por las columnas.

La contribución de las escaleras a la resistencia horizontal se desprecia porque normalmente se ubican cerca de elementos más rígidos (muros longitudinales para escaleras internas o muros transversales para escaleras externas) que soportan la mayor parte de la carga lateral antes de cualquier falla.

Después de la falla del muro, la resistencia adicional de las escaleras podría jugar un papel relevante pero no se tiene en cuenta (conservadoramente) tanto por la falta de confiabilidad de la contribución de las escaleras como porque están ubicadas de una manera completamente asimétrica e introducirían una torsión relevante. Efectos en la edificación.

La repercusión de las aberturas en las losas (principalmente por las escaleras) también se desprecia ya que tienen poco efecto en su resistencia en el plano. Por lo tanto, se asume un efecto de diafragma completo y el comportamiento lateral del edificio se representa mediante modelos de masas agrupadas con un grado de libertad por piso (en cada dirección) ya que el edificio es bastante simétrico.

Falla a tracción de las vigas en las juntas. Esta falla se produciría principalmente por deslizamiento de las barras longitudinales de refuerzo de las vigas en el interior de las columnas. Más bien no es viable ya que dichas barras están suficientemente ancladas mediante ganchos convencionales.

### ***Rotura por cortante de los muros***

La falla por cortante de los muros surge del deslizamiento horizontal a lo largo de las capas de mortero. La resistencia de este modo de falla proviene de dos fuentes: adherencia y fricción (debido a la compresión vertical), según el criterio clásico de Mohr-Coulomb. Recomiendan conservadoramente no tener en cuenta las fuerzas verticales debidas a la gravedad ya que sus valores son difíciles de estimar y, antes de la falla, las vigas se separan de los muros. La compresión vertical proviene únicamente de la componente vertical de la compresión del puntal diagonal. La resistencia a cortante de los muros coplanares y no coplanares (tabiques o en voladizo) es diferente: en el primer caso se puede tener en cuenta tal compresión mientras que en el segundo no existe al no existir columnas en los lados de la pared (y, por tanto, el comportamiento descrito en la figura es imposible).

Para el comportamiento cíclico, solo se puede tener en cuenta el término de fricción ya que la cohesión no es confiable; dicha resistencia residual también se determina en esta subsección. Esto es relevante cuando se considera el comportamiento conjunto de las paredes y los marcos, como se explica más adelante.

El efecto de las aberturas está representado por una reducción equivalente en la longitud del muro.

### ***Falla por compresión diagonal de los muros coplanares***

Generalmente, a niveles bajos de fuerza lateral en el plano, el marco y los muros de relleno actúan conjuntamente y se comportan como un muro estructural con elementos de contorno (albañilería confinada); a mayores deformaciones laterales, el comportamiento del sistema se vuelve complejo, ya que el pórtico se deforma en modo de flexión mientras que los muros lo hacen en modo de cortante. Esto da como resultado una separación entre el marco y el panel en las esquinas de la diagonal de tensión, y el

desarrollo de un puntal de compresión en la diagonal de compresión (acción de arriostramiento del relleno de mampostería), con una zona de contacto entre el marco y el panel de relleno con una longitud indicada como  $z$ , y un ancho de puntal diagonal ( $w$ ) menor que el del panel completo.

#### ***Fallo por flexión de las columnas o vigas***

Los mecanismos de colapso de los marcos están compuestos por cuatro y seis rotulas, respectivamente. Las fuerzas laterales requeridas para generar dicho mecanismo se pueden obtener mediante un análisis pushover clásico. Este análisis consiste en aplicar fuerzas horizontales crecientes sobre las vigas hasta el colapso (progresivo). Se supone que las rótulas se forman en los extremos de vigas o columnas; esta suposición es conservadora ya que sería más costoso (en términos de fuerza horizontal) generar otros mecanismos con rotulas plásticas más cercanas. Debe tenerse en cuenta que la mayoría de los expertos en ingeniería sísmica recomiendan no confiar en las rotulas plásticas si el refuerzo transversal no proporciona suficiente confinamiento; esta cuestión sólo puede aclararse mediante análisis experimental.

#### ***Fallo combinado de muros y pórticos***

Como criterio conservador, se puede suponer que cualquiera de los dos mecanismos de falla de los muros antes mencionados (cortante horizontal o compresión diagonal) se puede combinar con cualquiera de estos dos modos de falla de los pórticos (cortante o flexión) para formar mecanismos de colapso total de todo el edificio. La falla por cortante de los muros es seguida por una falla por cortante o flexión de las columnas del marco. La resistencia inicial a cortante de los muros viene dada por el criterio clásico de Mohr Coulomb; después de que se inicia la cesión del marco, la cohesión se desvanece y solo se puede considerar el término de fricción. En consecuencia, la resistencia máxima en este modo viene dada por la menor de (1) la resistencia inicial al corte de los muros

(pero no más que la resistencia al corte de las columnas) y (2) la resistencia restante al corte de los muros más el corte o resistencia a la flexión de las columnas.

El comportamiento horizontal conjunto de muros y pórticos no coplanares está garantizado por la transmisión del esfuerzo cortante a través de esfuerzos cortantes horizontales en las losas. Esto se da principalmente en dos casos: muro de revestimiento en voladizo para nuestras viviendas estudiadas y tabiques no alineados verticalmente.

### ***Fallo fuera del plano de los muros***

La resistencia de los muros superiores a este tipo de fallas es difícil de estimar, pero su confiabilidad es baja dada la mala calidad del mortero y la falta de vigas de cuello superior y de amarres confiables (los techos son livianos y débiles). Este modo de falla es peligroso ya que puede causar la muerte de personas, tanto dentro como fuera de la edificación.

Realizar ensayos sobre modelos de laboratorio de construcciones existentes para confirmar o modificar las conclusiones teóricas aquí extraídas y las recomendaciones de construcción y rehabilitación. El código peruano establece que los muros verticales en voladizo están diseñados para soportar una fuerza horizontal superior significativa.

### ***Desprendimiento de los techos***

Los techos, aunque livianos, no están conectados rígidamente a los miembros de soporte (muros y columnas) y, por lo tanto, corren un grave riesgo (difícil de estimar) de caída. Esto podría tener consecuencias fatales.

### ***Colapso de elementos verticales sin puntal***

Debido a la componente vertical de la acción sísmica, algunos elementos verticalmente no soportados pueden sufrir aceleraciones verticales que pueden conducir a su colapso. Este riesgo es grave ya que la estructura portante y las losas ya están muy



demandadas por las cargas gravitatorias (más allá de sus capacidades). Además, las paredes soportan más peso del esperado, lo que aumenta aún más el riesgo.

### ***Pruebas requeridas***

Estas conclusiones no son completamente confiables y se recomiendan más pruebas. Sus principales características se describen a continuación.

El enfoque consta de los dos pasos consecutivos:

Realizar ensayos sobre modelos de laboratorio de construcciones existentes para confirmar o modificar las conclusiones teóricas aquí extraídas y las recomendaciones de construcción y rehabilitación descritas.

Para implementar dichas recomendaciones en modelos similares y realizar pruebas

Condiciones generales:

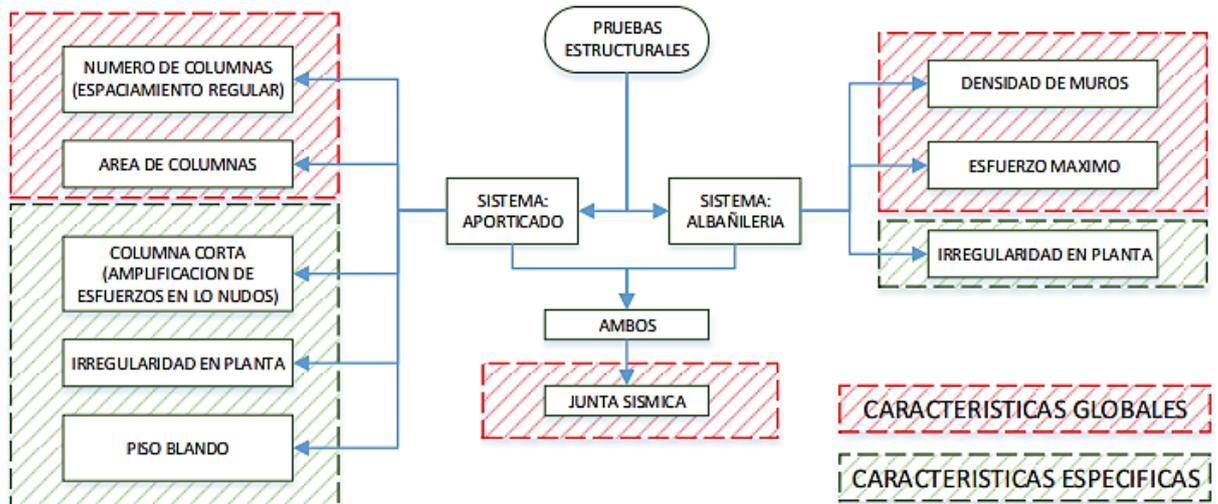
Todos los experimentos deben ser a escala real.

Las características de las construcciones deben reproducirse fielmente. Se debe realizar un estudio completo sobre las técnicas de construcción reales, el orden entre las diferentes operaciones es relevante.

Incluso aquellos elementos sin influencia relevante aparente en el comportamiento sísmico (por ejemplo, escaleras, muebles y electrodomésticos pesados, elementos de techo, aberturas menores y ranuras en las paredes) deberían ser introducidos para revelar modos de falla inesperados.

### **PREDECIR POSIBLES FALLAS:**

Se desarrollará pruebas para diversas intensidades sísmicas y se evaluará el comportamiento estructural según un análisis espectral de los modelos en edificaciones típicas tradicionales.



*Figura 39: Procedimiento de la Actividad*

CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES:

**Tabla 31:** Características de los elementos estructurales de las viviendas encuestadas

AÑO	ZAPATAS			CIMIENTO CORRIDO			VIGAS DE CIMENTACIÓN			COLUMNAS			VIGAS				
	DIMEN.	REF.	ESPA C.	DIMEN.	DIMEN.	ESPAC.	REF. ESTR.	ESPAC.	DIMEN.	REF.	EST R.	ESPAC.	DIMEN.	REF.	ESTRIBO	ESPEC.	
2012	1.5X1.5X1.3	φ1/2	@0.15	0.60X0.70	0.20X0.50	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.25	6φ5/8	φ3/8	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.25	6φ1/2	φ3/8	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	
2012	1.0X1.0X1.2	φ1/2	@0.20	0.40X0.80	0.30X0.40	4φ1/2	φ1/4	todo @.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	4@.10, rto@.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	4@.10, rto@.20	
2010	1.0X1.0X1.0	φ1/2	@0.10	0.40X0.60					0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	3@.05,4@.10, rto@.20	0.25X0.20	4φ1/2	φ1/4	3@.05,4@.10, rto@.20	
2009	1.0X1.0X1.2	φ1/2	@0.15	0.70X0.90					0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	4@.10,2@.15, rto@.20	0.25X0.20	5φ1/2	φ1/4	4@.10,2@.15, rto@.20	
2007	1.0X1.0X1.0	φ1/2	@0.10	0.40X0.60					0.23X0.23	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.20	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	
2006	1.0X1.0X1.2	φ1/2	@0.20	0.60X0.80	0.25X0.40	6φ1/2	φ3/8	1@.05,3@.10,3@.15 rto@.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.20	6φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	
2004	1.20X1.20X1.2	φ1/2	@0.20	0.60X0.80	0.30X0.40	4φ1/2	φ1/4	1@.05,3@.10,3@.15 rto@.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	2@.05,5@.10, rto@.20	0.25X0.20	4φ1/2	φ1/4	1@.05,3@.10,3@.15 rto@.20	
2002	1.20X1.20X1.5	φ1/2	@0.15	0.50X0.90	0.20X0.30	4φ1/2	φ1/4	5@.10,1@.15, rto@.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.20	6φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	
2001	1.0X1.0X1.2	φ1/2	@0.20	0.40X0.80					0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	1@.05,5@.10, rto@.20	0.25X0.20	6φ1/2	φ3/8	1@.05,5@.10, rto@.20	
TOT AL																	
GEN ERA L	1.0X1.0X1.0	φ1/2	@0.20	0.60X0.80	0.20X0.40	4φ1/2	φ1/4	todo @.20	0.25X0.25	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	0.25X0.20	4φ1/2	φ1/4	2@.05,2@.10,2@.15 rto@.20	



## CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

En la recolección de datos durante la encuesta, se determinó que la mayoría de los elementos estructurales no han cambiado significativamente a lo largo del tiempo de las edificaciones, de las cuales mencionamos los siguientes casos:

- Las columnas no han cambiado de dimensión, pero en su composición si, las viviendas antiguas tienen menor resistencia según la toma de datos con el esclerómetro, en ese caso las viviendas podrían estar en una resistencia por debajo de los 100 kg/cm<sup>2</sup>
- A partir del año 2000, existe un 95% de probabilidad de que las edificaciones hayan sido construidas con zapatas reforzadas con acero de ½ espaciamiento cada 20cm.
- En el caso de las losas, todas las losas de planta se aligeran en un sentido. En cambio, los más frecuentes encontrados han sido losas aligeradas que inician de 20cm en el primer nivel y pasan a 17cm en los siguientes, terminando en 15cm en la azotea o el ultimo nivel. La información desarrollada de las encuestas nos muestra que el 75% construye viguetas y losa con el mismo concreto, y 25% lo hace más resistente en las viguetas y más pobre en la losa al agregarlo.

Por tanto, el análisis de la resistencia de las edificaciones será de 110kg/cm<sup>2</sup>, este valor nos permitirá caracterizar el material en el software ETABS

## ANÁLISIS DE ARQUITECTURA DE LAS VIVIENDAS

El levantamiento arquitectónico se realizó en el sector de estudio, a viviendas de Concreto armado (pórticos) y viviendas de albañilería confinada. Donde se obtuvo los siguientes resultados.

Al desarrollar un análisis de la arquitectura de las viviendas de 2 a 4 niveles, para las cuales se ha realizado el levantamiento arquitectónico, desarrollando los planos de distribución para luego tener las características de cada vivienda como el número de columnas y sus dimensiones, la densidad de paredes en X e Y, y el área de terreno. De tal forma que obtengamos la densidad media de muros y superficie del terreno para poder generar un modelo típico de edificación, ajustándonos a la realidad de la zona

**Tabla 32:** Características de las edificaciones típicas en el Sector.

EDIF.	DENSIDAD DE MUROS		CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO					CARACTERÍSTICAS DE COLUMNAS		
	X	Y	L(m)	A(m)	ÁREA TERRENO (m <sup>2</sup> )	ÁREA TECHADA (m <sup>2</sup> )	ÁREA LIBRE	CANT.	LARGA (cm)	ANCHO (cm)
1	0.013	0.057	18	6	108	101.9	6%	15	25	27
2	0.011	0.026	17.9	6	107.4	103.5	4%	18	30	30
3	0.015	0.049	17	5.8	98.6	90.3	8%	14	25	25
4	0.016	0.054	17.5	6.3	110.25	51.28	53%	12	17	25
5	0.028	0.056	17	6	102	84.3	17%	18	25	30
6	0.02	0.059	18	5.75	103.5	93.4	10%	20	25	25
7	0.029	0.063	18	5.41	97.38	90.1	7%	18	25	25
8	0.021	0.039	17.5	7.1	124.25	112.5	9%	23	25	25
9	0.034	0.048	17.2	6	103.2	77.25	25%	17	27	27
<b>PROM.</b>	0.021	0.050	17.6	6.0	106.06	89.39	16%	17	25	27
<b>DESV.E</b>										
<b>ST.</b>	0.019	0.032	1.158	1.317	22.559	49.01	0.43	9	9	6

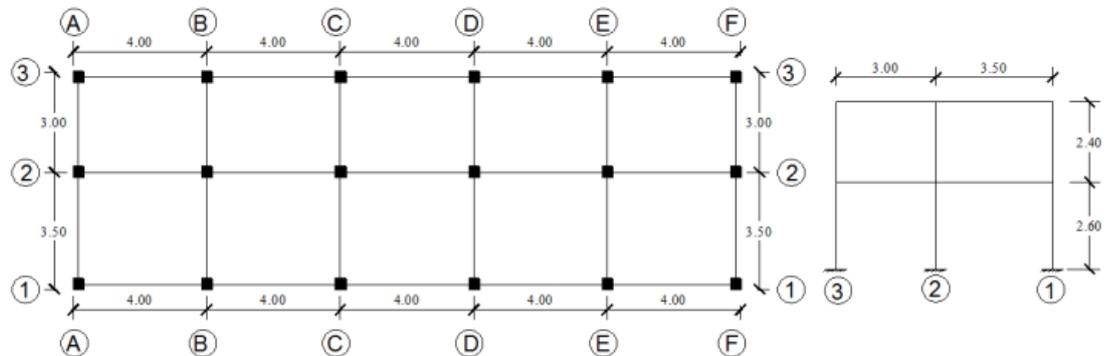
Según nuestros datos procesados se observó que el tipo de columna, más usada es 25x25, según nuestros datos desarrollados de las encuestas.

Al desarrollar el análisis arquitectónico podemos identificar la cantidad de muros a los que están expuestas las edificaciones, pudiendo deducir así una carga a estos elementos y también las dimensiones del terreno promedio para poder iniciar la verificación estructural.

## VIVIENDA DE CONCRETO ARMADO (Aporticado)



**Figura 40:** Fotografía de la fachada de la vivienda N° 5 en análisis (propietaria Teresa Guana Larico) el día 07/10/19, Mz. E Lote 23 jr. Los Rosales, CP salcedo, Puno

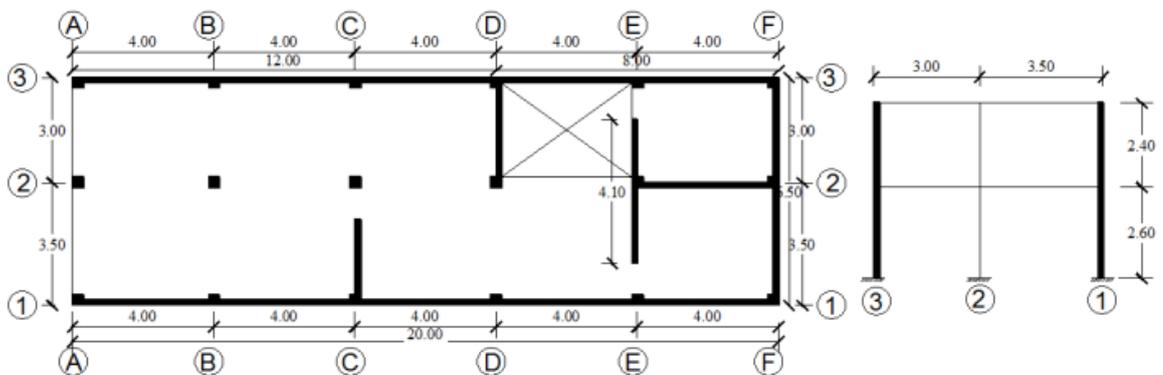


**Figura 41:** Aporticado

## VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA



*Figura 42. Fotografía de la fachada de la vivienda N° 1 en análisis (propietario Luis Pacheco Quispe) 22/09/19, Mz. D Lote 08 jr. Los Cipreces, CP salcedo, Puno.*



*Figura 43: Albañilería Confinada*

De la vivienda de albañilería según el propietario, la vivienda fue construida sin asesoría ni supervisión técnica, principalmente por factores económicos y falta de información



Durante la visita se pudo apreciar que la casa de dos niveles se distribuye de la siguiente manera:

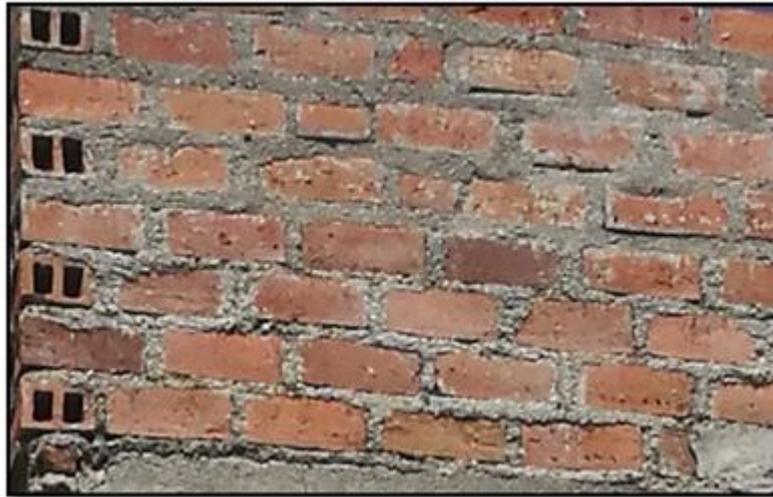
- 1er piso: sala comedor, cocina, tienda, depósito, baño, patio, lavandería, 02 dormitorios y cochera.
- 2do piso: depósito, baño, lavandería y 04 dormitorios

También se pudo apreciar por simple inspección visual que el terreno donde descansa la estructura es un Suelo Intermedio – S2 (según el RNE - 2018).

En la visita se identificó que los muros de albañilería son los elementos predominantes, el primer nivel esta constituido por ladrillos KK artesanales y el segundo nivel Pandereta artesanal mediante juntas de 2cm. Estos están confinados a través de columnas de confinamiento de 13 x 25 cm. y vigas de amarre de 13 x 25 cm. La cubierta es de losa aligerada de 20 cm de espesor (15 cm. de ladrillo y 5 cm. de losa de concreto).

Las columnas estructurales son de 25 x 25 cm y las vigas son de 25 x 25 cm. Al mismo tiempo se realizó el levantamiento de la vivienda a través de un croquis de la planta de distribución que más adelante se trasladará a AutoCAD. También, se elaborará un panel fotográfico que ilustre los aspectos más destacados de la vivienda.

A lo largo de la visita en campo se consiguió determinar las siguientes características de los materiales iniciales:



**Figura 44.** Muro de ladrillos Pandereta artesanal, de  $f'm = 35 \text{ Kg/cm}^2$ .

Resistencia característica a la compresión axial

$$f'm = 23 \text{ Kg/cm}^2$$

Resistencia característica al corte

$$v'm = 3.8 \text{ Kg/cm}^2$$



**Figura 45.** Elementos de concreto armado, de  $f'c = 130 \text{ Kg/cm}^2$ .

Resistencia a la compresión

$$f'c = 130 \text{ Kg/cm}^2$$

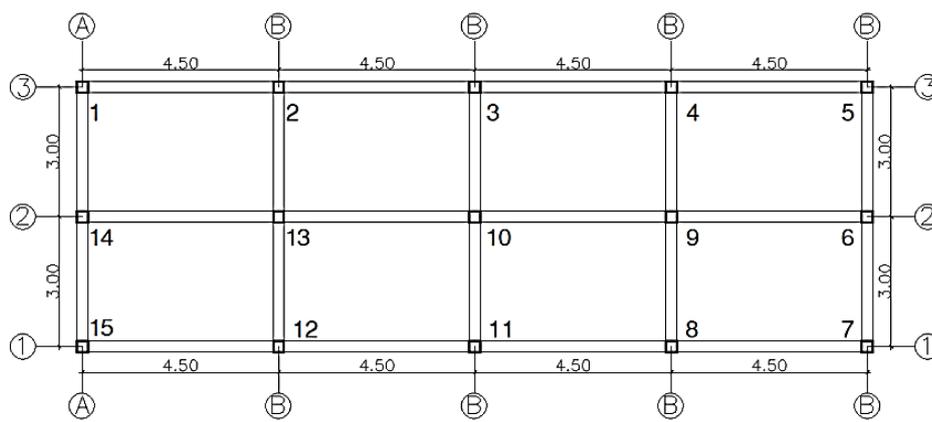
Toda esta información se trasladará al registro de campo que corresponda a la vivienda objeto de estudio.

### 3.8.2.2. Estimación de la vulnerabilidad:

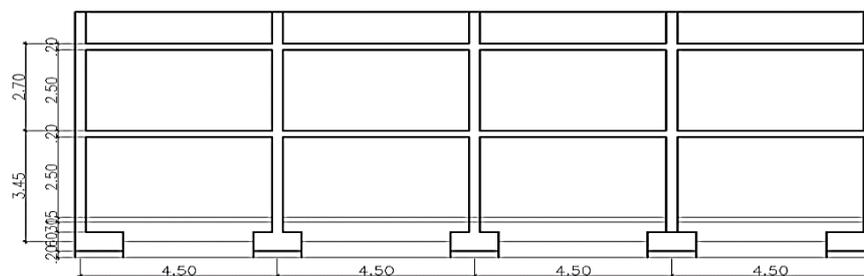
## PRUEBAS ESTRUCTURALES EN VIVIENDA APORTICADO

### a. Características geométricas de la Edificación Típica

Dimensión del terreno: 6x18m



*Figura 46: Vista en planta de la Edificación típica*



*Figura 47: Elevación de la edificación típica*

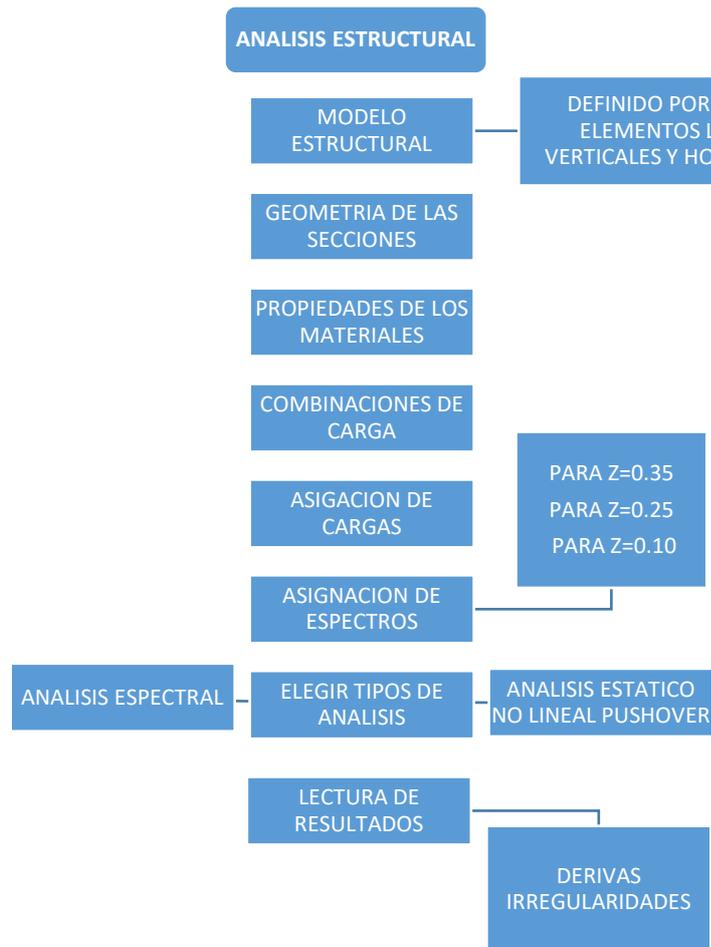
### b. Consideraciones de cargas:

- S/C: Se ha tenido en cuenta la carga viva de 200 kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo a la Normativa Nacional de Edificación E020 Carga.
- Se ha considerado una losa aligerada, su propio peso junto con acabados se consideró carga muerta con un valor de 400kg/m<sup>2</sup>.



- De acuerdo a las características de las edificaciones siempre hay un muro en el perímetro del edificio, solo en la fachada no existe continuación de este muro, por lo que se consideró una carga distribuida linealmente en el perímetro del edificio con un valor de 675 kg/m, que corresponde a un muro de albañilería de 15 cm de espesor y 2,50 m de altura de piso a techo ( $0,15 \times 2,50 \times 1,80 \text{ ton/m}^3$ ).
- Se consideró la relación de tabique pórtico en el primer nivel, para lo cual se modelaron puntales de dimensiones  $t \times (L/4)$ , siendo  $t$  el espesor del muro,  $L$  la diagonal del muro” (San Bartolomé, 1998). Solo se consideró en el primer nivel por la tendencia tradicional de utilizar ladrillos King Kong artesanal en el primer nivel y pandereta (no estructural) a partir del segundo piso, con una resistencia de  $35 \text{ kg/cm}^2$

**c. Proceso de Análisis:**



**Figura 48:** Proceso de Análisis

#### d. Consideraciones para el análisis sísmico:

- $Z= 3, 2, 1$ : En nuestro caso estimamos un factor de zona 3,2,1 debido a los grados de intensidad sísmica a los que queremos someter la edificación (Severo, moderado, Leve respectivamente), con las respectivas aceleraciones en función de la gravedad:  $0.35g(Z35)$ ,  $0.25g(Z25)$ ,  $0.10g(Z10)$ .
- $S= 3$  Debido a la poca resistencia del suelo, considerado como un suelo tipo S3 según la norma E030.
- $U= 1$  Considerando que la representatividad de nuestra muestra, son viviendas unifamiliares y multifamiliares.

- $R=8$  Debido al sistema estructural que estamos considerando “APORTICADO”.

Se identificó una característica importante en la consideración del factor  $R$  con respecto a una edificación que presenta una buena supervisión en su construcción, que asegura la calidad de la edificación. Según nuestra normativa se debe reducir el factor  $R$  de nuestras edificaciones, pero para ello es necesario realizar una investigación para determinar en qué medida influye la autoconstrucción en el factor  $R$ , por ello se considera un factor  $R$  conservador según la norma.

**Tabla 33:** Espectro de Aceleración para un  $Z=0.10g$ ,  $T$  en (s)

<b>Z=0.10g</b>							
<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>
0	0.0938	0.2	0.0938	0.7	0.0938	1.4	0.0670
0.02	0.0938	0.25	0.0938	0.75	0.0938	1.5	0.0625
0.04	0.0938	0.3	0.0938	0.8	0.0938	1.6	0.0586
0.06	0.0938	0.35	0.0938	0.85	0.0938	1.7	0.0519
0.08	0.0938	0.4	0.0938	0.9	0.0938	1.8	0.0463
0.1	0.0938	0.45	0.0938	0.95	0.0938	1.9	0.0416
0.12	0.0938	0.5	0.0938	1	0.0938	2	0.0375
0.14	0.0938	0.55	0.0938	1.1	0.0852	2.2	0.0310
0.16	0.0938	0.6	0.0938	1.2	0.0781	2.4	0.0260
0.18	0.0938	0.65	0.0938	1.3	0.0721	2.6	0.0222

**Tabla 34:** Espectro de respuesta para  $Z=0.25$ ,  $T$  en (s)

<b>Z=0.25g</b>							
<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>T</b>	<b>Sa</b>
0.08	0.109375	0.4	0.109375	0.9	0.109375	1.8	0.054012
0.1	0.109375	0.45	0.109375	0.95	0.109375	1.9	0.048476
0.12	0.109375	0.5	0.109375	1	0.109375	2	0.04375
0.14	0.109375	0.55	0.109375	1.1	0.099432	2.2	0.036157
0.16	0.109375	0.6	0.109375	1.2	0.091146	2.4	0.030382
0.18	0.109375	0.65	0.109375	1.3	0.084135	2.6	0.025888
0.2	0.109375	0.7	0.109375	1.4	0.078125	2.8	0.022321
0.25	0.109375	0.75	0.109375	1.5	0.072917	3	0.019444
0.3	0.109375	0.8	0.109375	1.6	0.068359	4	0.010938
0.35	0.109375	0.85	0.109375	1.7	0.060554	5	0.007

**Tabla 35:** Espectro de Respuesta para  $u Z=0.35g$ , T en (s)

Z=0.35g							
T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
0	0.328125	0.2	0.328125	0.7	0.32813	1.4	0.23438
0.02	0.328125	0.25	0.328125	0.75	0.32813	1.5	0.21875
0.04	0.328125	0.3	0.328125	0.8	0.32813	1.6	0.20508
0.06	0.328125	0.35	0.328125	0.85	0.32813	1.7	0.18166
0.08	0.328125	0.4	0.328125	0.9	0.32813	1.8	0.16204
0.1	0.328125	0.45	0.328125	0.95	0.32813	1.9	0.14543
0.12	0.328125	0.5	0.328125	1	0.32813	2	0.13125
0.14	0.328125	0.55	0.328125	1.1	0.29830	2.2	0.10847
0.16	0.328125	0.6	0.328125	1.2	0.27344	2.4	0.09115
0.18	0.328125	0.65	0.328125	1.3	0.25240	2.6	0.07766

**e. Análisis Espectral:**

**15 columnas**

**DERIVAS PARA EDIFICACIÓN DE 2 NIVELES:**

*Con Muro perimétrico:*

Desplazamientos máximos  
obtenidos en el programa Etabs

Desplazamientos Elásticos  
multiplicados por 0.75R

La Deriva debe cumplir la  
condición de ser menor que  
0.007 según norma E0.030

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	0.370	1.141	2.22	6.87	0.007	No paso	0.012	No paso
	1	345	0.044	0.603	0.27	3.60	0.001	paso	0.010	No paso
Z25	2	270	0.495	1.632	2.94	9.81	0.013	No paso	0.021	No paso
	1	345	0.068	0.832	0.38	5.03	0.001	paso	0.018	No paso
Z35	2	270	0.919	2.825	4.58	14.9	0.018	No paso	0.030	No paso
	1	345	0.091	1.184	0.58	7.13	0.002	No paso	0.026	No paso

**Tabla 36:** Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando un muro perimétrico.

**FUENTE:** Elaborado por el equipo de trabajo

*Solo Pórticos:*

**Tabla 37:** Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando solo Pórticos.

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	1.553	1.631	9.32	9.42	0.014	No paso	0.014	No paso
	1	345	0.909	0.994	5.25	5.96	0.016	No paso	0.017	No paso
Z25	2	270	2.02	2.857	15.15	17.73	0.025	No paso	0.025	No paso
	1	345	0.238	1.488	7.44	9.02	0.028	No paso	0.030	No paso
Z35	2	270	2.971	3.42	17.1	20.92	0.035	No paso	0.035	No paso
	1	345	1.843	2.12	10.51	12.72	0.039	No paso	0.043	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

Se identifica que las edificaciones aporticadas sometida a un sismo leve, las cuales normalmente se construyen con un número menor o igual a 16 columnas de 25 x 25 y compuestas por vigas planas de 25 x 20, sobre un terreno regular de aproximadamente 6 x 18m de área, no cumple con los desplazamientos relativos de entrepisos mínimos considerados en la Normativa RNE E030.

### EDIFICACIÓN DE 2 NIVELES: REACCIONES EN LOS APOYOS

**Tabla 38:** Reacciones en los apoyos de la Edificación de 2 niveles

Piso	Columna	Comb.	FX (ton)	FY (ton)	FZ (ton)	MX (ton-m)	MY (ton-m)	MZ (ton-m)	Área Requerida	Dimensiones
Base	1	Serv	0.20	-0.25	15.75	24.966	54.912	3.921	1.576	1.3
Base	2	Serv	0.23	-0.21	14.56	20.836	7.786	0.157	1.472	1.2
Base	3	Serv	-0.31	-0.21	14.75	20.081	7.934	0.157	1.478	1.2
Base	4	Serv	-0.30	-0.19	14.82	18.696	8.075	0.157	1.485	1.2
Base	5	Serv	-0.49	-0.55	11.36	13.289	-5.195	0.157	1.137	1.1
Base	6	Serv	0.01	-0.02	14.16	-8.192	6.086	0.157	1.418	1.2
Base	7	Serv	-0.20	0.22	10.64	-27.85	-3.248	0.157	1.064	1.0
Base	8	Serv	-0.02	0.22	14.42	-27.763	10.097	0.157	1.442	1.2
Base	9	Serv	-0.03	0.07	15.65	-10.702	4.317	0.157	1.568	1.3
Base	10	Serv	0.11	0.08	16.07	-11.556	16.749	0.157	1.607	1.3
Base	11	Serv	-0.04	0.18	15.86	-22.784	9.936	0.157	1.587	1.3
Base	12	Serv	0.5	0.24	14.77	-28.53	9.874	0.157	1.477	1.2
Base	13	Serv	0.04	0.02	16.15	-4.465	8.345	0.157	1.611	1.3
Base	14	Serv	0.07	0.02	19.32	-3.106	9.36	0.157	1.936	1.4
Base	15	Serv	0.21	0.11	10.63	-13.402	42.68	0.326	1.063	1.0

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

Teniendo en cuenta el análisis de desplazamientos y derivas máximas, se identifica que no cumple con la Normativa E030, considerando un  $Z=0.35g$ , para un diseño sísmico en la ciudad de Puno. También las edificaciones donde se consideró el muro perimétrico, se observa que, si cumple en un sentido, pero no en el otro, por tanto, de acuerdo a las recomendaciones de la normativa de edificación, no cumple con los requerimientos, por tal motivo su análisis será sin considerar el muro perimétrico. Para estimar con alta probabilidad el sismo que provoca el pre colapso de las edificaciones, se requiere de un análisis estático no lineal, donde consideramos diferentes escenarios sísmicos en los que la edificación resistirá fuerzas hasta alcanzar su capacidad límite de servicio.

### 18 columnas

#### EDIFICACIÓN DE 2 NIVELES: DERIVAS

*Con Muro perimétrico:*

**Tabla 39:** Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando un muro perimétrico.

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	0.287	0.936	1.72	5.61	0.005	paso	0.01	No paso
	1	345	0.041	0.469	0.25	2.87	0.001	paso	0.008	No paso
Z25	2	270	0.495	1.632	2.94	9.81	0.01	No paso	0.018	No paso
	1	345	0.068	0.832	0.38	5.03	0.001	paso	0.015	No paso
Z35	2	270	0.705	2.312	4.22	13.9	0.013	No paso	0.025	No paso
	1	345	0.091	1.184	0.58	7.13	0.002	paso	0.021	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

*Solo Pórticos:*

**Tabla 40:** Derivas por nivel de sismo, para la edificación de 2 niveles considerando solo Pórticos.

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	1.153	1.401	6.92	8.42	0.01	No paso	0.012	No paso
	1	345	0.706	0.854	4.25	5.16	0.012	No paso	0.015	No paso
Z25	2	270	2.02	2.452	12.15	14.73	0.017	No paso	0.021	No paso
	1	345	0.238	1.488	7.44	9.02	0.021	No paso	0.026	No paso
Z35	2	270	2.871	3.42	17.1	20.92	0.025	No paso	0.03	No paso
	1	345	1.745	2.12	10.51	12.72	0.03	No paso	0.037	No paso

## EDIFICACIÓN DE 2 NIVELES: REACCIONES EN LOS APOYOS

**Tabla 41:** Reacciones en los apoyos para la Edificación de 2 niveles

Piso	Columna	Comb	FX (ton)	FY (ton)	FZ (ton)	MX (ton-m)	MY (ton-m)	MZ (ton-m)	Área Requerida	Dim
Base	1	Serv	0.35	-0.25	15.75	24.966	54.912	3.921	1.576	1.3
Base	2	Serv	-0.32	-0.21	14.56	20.836	7.786	0.157	1.472	1.2
Base	3	Serv	-0.31	-0.21	14.75	20.081	7.934	0.157	1.478	1.2
Base	4	Serv	-0.32	-0.19	14.82	18.696	8.075	0.157	1.485	1.2
Base	5	Serv	-0.45	-0.55	11.36	13.289	-5.195	0.157	1.137	1.1
Base	6	Serv	0.03	-0.02	14.16	-8.192	6.086	0.157	1.418	1.2
Base	7	Serv	-0.16	0.22	10.64	-27.85	-3.248	0.157	1.064	1.0
Base	8	Serv	-0.2	0.22	14.42	-27.763	10.097	0.157	1.442	1.2
Base	9	Serv	0.01	0.07	15.65	-10.702	4.317	0.157	1.568	1.3
Base	10	Serv	0.12	0.08	16.07	-11.556	16.749	0.157	1.607	1.3
Base	11	Serv	-0.09	0.18	15.86	-22.784	9.936	0.157	1.587	1.3
Base	12	Serv	-0.09	0.24	14.77	-28.53	9.874	0.157	1.477	1.2
Base	13	Serv	0.05	0.02	16.15	-4.465	8.345	0.157	1.611	1.3
Base	14	Serv	0.06	0.02	19.32	-3.106	9.36	0.157	1.936	1.4
Base	15	Serv	0.58	0.3	15.75	-36.415	59.011	-9.671	1.579	1.3
Base	16	Serv	0.3	-0.08	10.37	8.4	36.12	0.36	1.037	1.0
Base	17	Serv	0.12	0.02	12.48	-3.52	18.462	0.326	1.248	1.1
Base	18	Serv	0.31	0.11	10.63	-13.402	42.68	0.326	1.063	1.0

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

RESUMEN DE RESULTADOS INCLUYENDO UN MURO PERIMÉTRICO:

**Tabla 42:** Resultados considerando un muro perimétrico de 2 niveles

		2 PISOS			
		X		Y	
Espectro	Piso	15	18	15	18
Z10	2	0.007	0.005	0.012	0.01
	1	0.001	0.001	0.01	0.008
Z25	2	0.013	0.01	0.021	0.018
	1	0.001	0.001	0.018	0.015
Z35	2	0.018	0.013	0.03	0.025
	1	0.002	0.002	0.026	0.021

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

RESUMEN DE RESULTADOS CONSIDERANDO SOLO PÓRTICOS:

**Tabla 43:** Resumen de resultados considerando solo pórticos

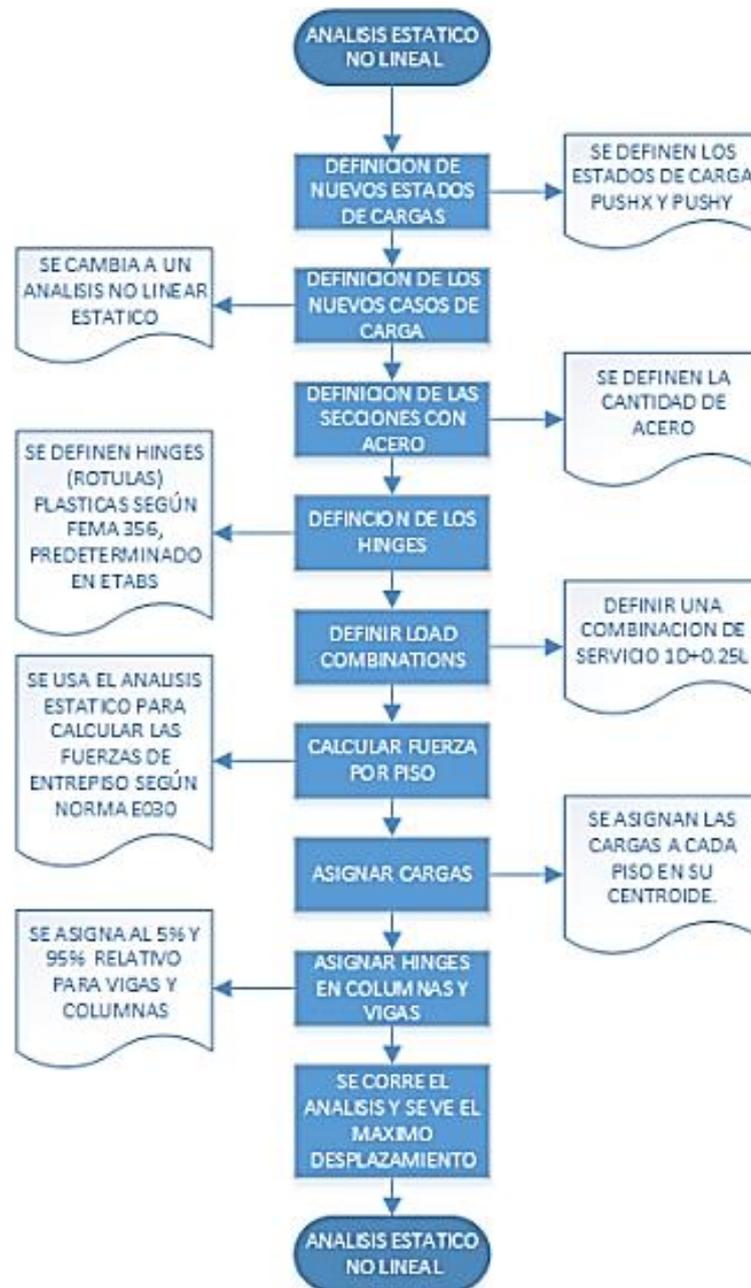
		2 PISOS			
		X		Y	
Espectro	Piso	15	18	15	18
Z10	2	0.014	0.01	0.014	0.012
	1	0.016	0.012	0.017	0.015
Z25	2	0.025	0.017	0.025	0.021
	1	0.028	0.021	0.03	0.026
Z35	2	0.035	0.025	0.035	0.030
	1	0.039	0.03	0.043	0.037

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

**f. Análisis Estático no lineal:**

Considerando que con el análisis sísmico espectral no podemos predecir el pre colapso de nuestras edificaciones, por la deficiencia de datos necesarios, se deriva a evaluar las edificaciones de 15 y 18 columnas de sistema estructural. De acuerdo a lo especificado en el FEMA 356, procedemos a realizar el análisis estático no lineal PUSHOVER, con el uso del software ETABS 2018. Debido a la irregularidad que existe

de una edificación a otra, no se considera la contribución de los estribos para el análisis considerado.

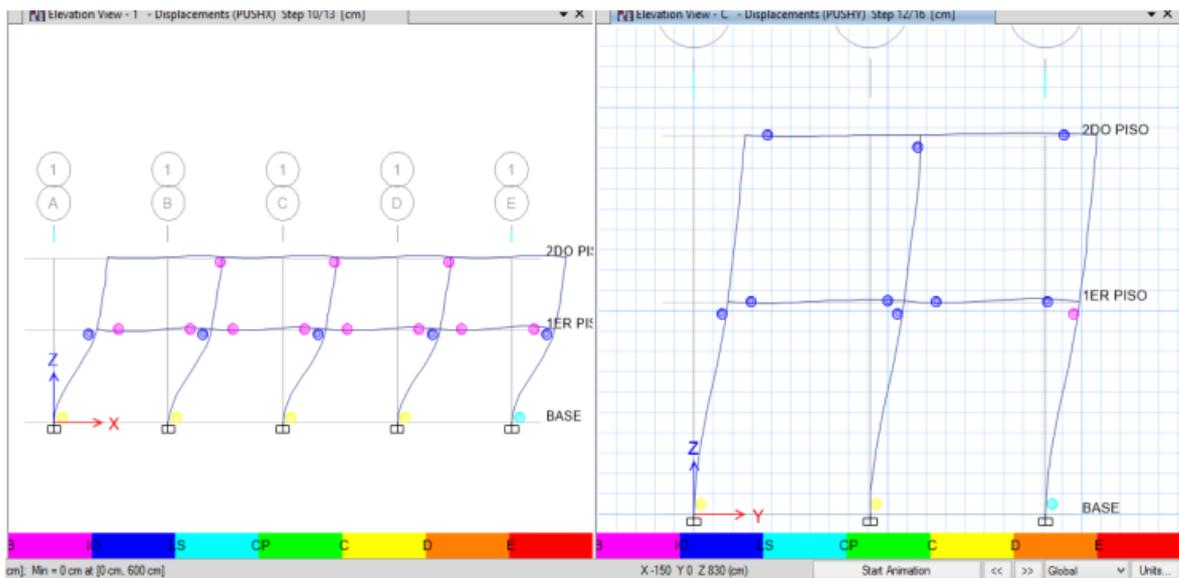


*Figura 49: Análisis sísmico estático no lineal*

PARA 15 COLUMNAS: DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

**Tabla 44:** Desplazamiento máximos 15 columnas de 2 niveles

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
<b>Bajo</b>	2	270	7.07	8.71	0.005	Paso	0.011	No paso
	1	345	5.65	5.82	0.016	No paso	0.017	No paso



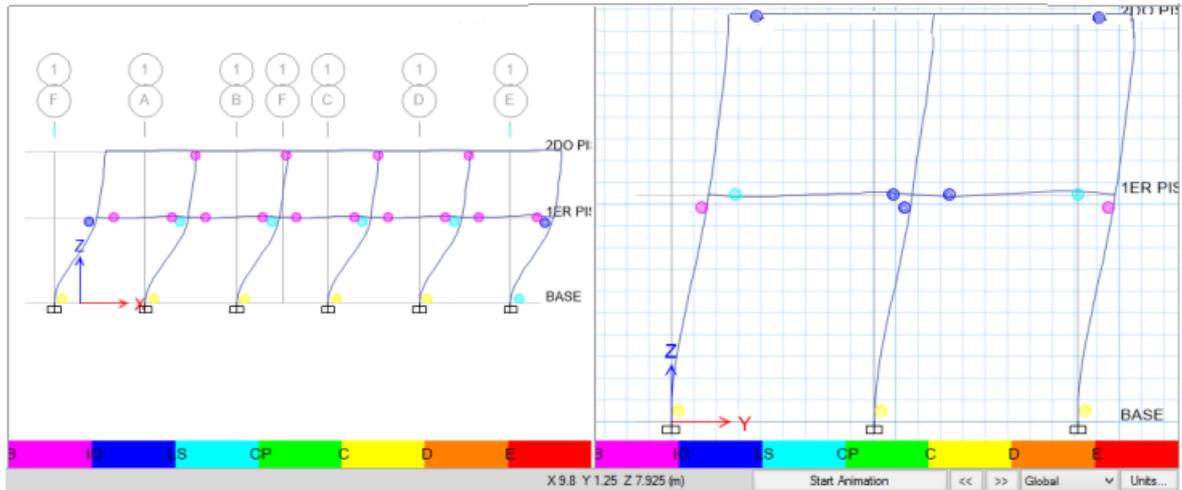
*Figura 50: Desplazamiento Máximo*

PARA 18 COLUMNAS: DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

**Tabla 45:** Desplazamiento máximos 18 columnas de 2 niveles

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
<b>Moderado</b>	2	270	6.76	9.73	0.004	Paso	0.012	No paso
	1	345	5.62	6.21	0.016	No paso	0.015	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura 51: Desplazamiento Máximo de 2 niveles*

**g. Resumen del análisis No lineal**

**Tabla 46.** Resumen de análisis Lineal de 15 y 18 columnas

	Desplazamientos Máximos			Colapso para Sismo	Vulnerabilidad
	Piso	X(cm)	Y(cm)		
<b>15 Columnas</b>	2	7.07	8.71	Bajo	Alta
	1	5.27	5.37	Severo	Baja
<b>18 Columnas</b>	2	6.76	9.73	Moderado	Media
	1	5.61	5.83	Severo	Baja

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

**h. Área de columnas**

**Tabla 47:** Variables para la Evaluación y Factores de Vulnerabilidad

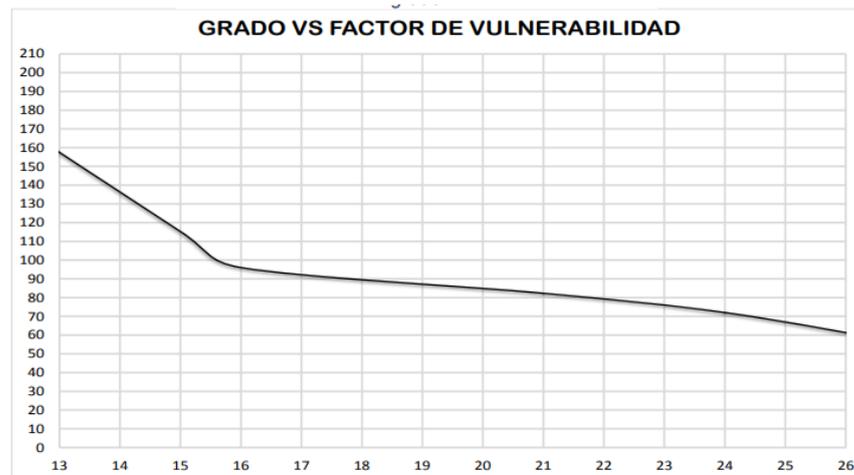
	Dimensiones			Área de Corte	Área terreno Medio	F.V.
	N° Col	Largo	Ancho			
<b>15 Columnas</b>	15	0.25	0.25	0.94	108	115
<b>18 Columnas</b>	18	0.25	0.25	1.13	108	96

**i. Grafica para medir el grado de Vulnerabilidad sísmica en edificaciones**

**Aporticado:**

**Tabla 48:** Factores de vulnerabilidad en función del grado

GRADO	F. VULN.
11	200
15	115
16	96
21	82
24	72
27	56



**Figura 52:** Grafica para medir el grado de vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas

Los aspectos más destacados se han considerado gráficamente, no se recomienda extender más valores de acuerdo a la complejidad de los cálculos principales para obtener los valores.

F.V (factor de vulnerabilidad), se considera que es el área de corte de los elementos estructurales resistentes en nuestro caso estarán en las columnas de nuestras edificaciones aporticadas.

## PRUEBAS ESTRUCTURALES EN VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA

### a. Espectro de Respuesta Según Normativa E030

**Tabla 49:** Espectro de respuesta para albañilería,  $Z=0.10g$ , T en (s)

<b>Z=0.10g</b>							
T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
0	0.1333	0.2	0.1333	0.7	0.1143	1.4	0.0571
0.02	0.1333	0.25	0.1333	0.75	0.1067	1.5	0.0533
0.04	0.1333	0.3	0.1333	0.8	0.1000	1.6	0.0500
0.06	0.1333	0.35	0.1333	0.85	0.0941	1.7	0.0471
0.08	0.1333	0.4	0.1333	0.9	0.0889	1.8	0.0444
0.1	0.1333	0.45	0.1333	0.95	0.0842	1.9	0.0421
0.12	0.1333	0.5	0.1333	1	0.0800	2	0.0400
0.14	0.1333	0.55	0.1333	1.1	0.0727	2.2	0.0331
0.16	0.1333	0.6	0.1333	1.2	0.0667	2.4	0.0278
0.18	0.1333	0.65	0.1231	1.3	0.0615	2.6	0.0237

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 50:** Espectro de Respuesta para albañilería,  $Z=0.25g$ , T en (s)

<b>Z=0.25g</b>							
T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
0	0.25	0.2	0.25	0.7	0.214286	1.4	0.107143
0.02	0.25	0.25	0.25	0.75	0.2	1.5	0.1
0.04	0.25	0.3	0.25	0.8	0.1875	1.6	0.09375
0.06	0.25	0.35	0.25	0.85	0.176471	1.7	0.088235
0.08	0.25	0.4	0.25	0.9	0.166667	1.8	0.083333
0.1	0.25	0.45	0.25	0.95	0.157895	1.9	0.078947
0.12	0.25	0.5	0.25	1	0.15	2	0.075
0.14	0.25	0.55	0.25	1.1	0.136364	2.2	0.061983
0.16	0.25	0.6	0.25	1.2	0.125	2.4	0.052083
0.18	0.25	0.65	0.23077	1.3	0.115385	2.6	0.044379

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 51:** Espectro de Respuesta para albañilería,  $Z=0.35g$ , T en (s)

<b>Z=0.35g</b>							
T	Sa	T	Sa	T	Sa	T	Sa
0	0.39375	0.2	0.39375	0.7	0.33750	1.4	0.16875
0.02	0.39375	0.25	0.39375	0.75	0.31500	1.5	0.15750
0.04	0.39375	0.3	0.39375	0.8	0.29531	1.6	0.14766
0.06	0.39375	0.35	0.39375	0.85	0.27794	1.7	0.13897
0.08	0.39375	0.4	0.39375	0.9	0.26250	1.8	0.13125
0.1	0.39375	0.45	0.39375	0.95	0.24868	1.9	0.12434
0.12	0.39375	0.5	0.39375	1	0.23625	2	0.11813
0.14	0.39375	0.55	0.39375	1.1	0.21477	2.2	0.09762
0.16	0.39375	0.6	0.39375	1.2	0.19688	2.4	0.08203
0.18	0.39375	0.65	0.363462	1.3	0.18173	2.6	0.06990

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

## b. Análisis estructural

En las edificaciones estudiadas se evidencia que existe una baja densidad de muros en las viviendas, las edificaciones con deficiente densidad de muros según la Normativa E070 albañilería es muy difícil garantizar que las edificaciones se comporten como un sistema de albañilería confinada, por lo tanto, se tendrá presente como característica global la resistencia al agrietamiento diagonal de los muros.

La identificación de estas edificaciones resultará ser la relación más favorable entre un análisis como albañilería confinada y aporticado. La siguiente tabla es el resultado del análisis de densidad de muros para las direcciones x e y a las 7 edificaciones tradicionales, que se levantaron en arquitectura.

Durante el análisis se designaron los límites inferior medio y superior para las pruebas estructurales en albañilería confinada. Los valores que determinamos representan la realidad del sector objeto de estudio y establece una característica global para el cálculo de la resistencia de estas edificaciones.

**Tabla 52:** Análisis de las densidades de muros máxima, mínima y promedio de las estructuras

DIRECCIÓN	VALORES MEDIOS		VALORES INFERIORES		VALORES SUPERIORES	
	PARA Y	PARA X	PARA Y	PARA X	PARA Y	PARA X
L(m)	18	18	18	18	18	18
A(m)	6	6	6	6	6	6
Área en Y	2.1	6.1	1.14	4	3.06	8.1
Long Y	14	40.5	7.6	26.6	20.4	32.6

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

USANDO VALORE INFERIORES (MODELO 1)

**4 niveles:**

DERIVAS

**Tabla 53:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 4 niveles con valores inferiores de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	4	270	0.18	1.244	1.08	7.46	0.001	Paso	0.005	Paso
	3	270	0.157	1.009	0.94	6.05	0.001	Paso	0.007	Paso
	2	270	0.118	0.698	0.71	4.19	0.001	Paso	0.008	No paso
	1	345	0.066	0.357	0.4	2.14	0.001	Paso	0.006	Paso
Z25	4	270	0.338	2.333	2.03	14	0.002	Paso	0.01	No paso
	3	270	0.294	1.892	1.76	11.35	0.002	Paso	0.013	No paso
	2	270	0.221	1.308	1.33	7.85	0.002	Paso	0.014	No paso
	1	345	0.125	0.669	0.75	4.01	0.002	Paso	0.012	No paso
Z35	4	270	0.532	3.674	3.19	22.04	0.002	Paso	0.015	No paso
	3	270	0.464	2.979	2.78	17.87	0.003	Paso	0.02	No paso
	2	270	0.348	2.061	2.09	12.37	0.003	Paso	0.022	No paso
	1	345	0.196	1.053	1.18	6.32	0.003	Paso	0.018	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

#### CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 54:** Control de agrietamiento y efectos de los diferentes tipo de sismos que lo provocan, vivienda de 4 niveles inferior.

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	VM	Control
Z10	W4	0.13	18	80.9328	27.1	100.56	1.0	78.28	Paso
	W6	0.13	18	74.7765	22.86	117.74	1.0	76.87	Paso
	W3	0.13	6	28.4933	22.46	51.08	1.0	26.44	No paso
	W5	0.23	3	17.8546	18.61	42.21	1.0	21.7	No paso
Z25	W4	0.13	18	80.9328	50.8	188.55	1.0	78.28	No paso
	W6	0.13	18	74.7765	42.87	220.76	1.0	76.87	No paso
	W3	0.13	6	28.4933	34.9	95.78	1.0	26.44	No paso
	W5	0.23	3	17.8546	42.12	79.14	1.0	21.7	No paso
Z35	W4	0.13	18	80.9328	80.02	396.97	1.0	78.28	No paso
	W6	0.13	18	74.7765	67.52	347.7	1.0	76.87	No paso
	W3	0.13	6	28.4933	54.97	150.86	1.0	26.44	No paso
	W5	0.23	3	17.8546	66.34	124.64	1.0	21.7	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3 niveles:

#### DERIVAS

**Tabla 55:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores inferiores de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	3	270	0.157	1.009	0.94	6.05	0.001	Paso	0.007	Paso
	2	270	0.118	0.698	0.71	4.19	0.001	Paso	0.008	No paso
	1	345	0.066	0.357	0.4	2.14	0.001	Paso	0.006	Paso
Z25	3	270	0.294	1.892	1.76	11.35	0.002	Paso	0.013	No paso
	2	270	0.221	1.308	1.33	7.85	0.002	Paso	0.014	No paso
	1	345	0.125	0.669	0.75	4.01	0.002	Paso	0.012	No paso
Z35	3	270	0.464	2.979	2.78	17.87	0.003	Paso	0.02	No paso
	2	270	0.348	2.061	2.09	12.37	0.003	Paso	0.022	No paso
	1	345	0.196	1.053	1.18	6.32	0.003	Paso	0.018	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

#### CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 56:** Control de agrietamiento y efectos de los diferentes tipo de sismos que lo provocan, vivienda de 3 niveles inferior.

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	VM	Control
Z10	W4	0.13	18	64.88	19.14	83.7	1.0	74.59	Paso
	W6	0.13	18	59.71	21.59	72.36	1.0	73.4	Paso
	W3	0.13	6	2.57	15.08	37.11	1.0	25.08	No paso
	W5	0.23	3	14.61	18.42	33.45	1.0	20.95	No paso
Z25	W4	0.13	18	64.88	35.88	156.94	1.0	74.59	Paso
	W6	0.13	18	59.71	40.49	135.68	1.0	73.4	No paso
	W3	0.13	6	2.57	28.27	69.58	1.0	25.08	No paso
	W5	0.23	3	14.61	34.54	62.72	1.0	20.95	No paso
Z35	W4	0.13	18	64.88	56.52	247.18	1.0	74.59	No paso
	W6	0.13	18	59.71	63.76	213.69	1.0	73.4	No paso
	W3	0.13	6	2.57	44.53	109.58	1.0	25.08	No paso
	W5	0.23	3	14.61	54.4	98.78	1.0	20.95	No paso

## 2 niveles:

### DERIVAS

**Tabla 57:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 2 niveles con valores medios y bajos de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	0.038	0.594	0.086	1.337	0.000	Paso	0.002	Paso
	1	345	0.025	0.324	0.056	0.729	0.000	Paso	0.002	Paso
Z25	2	270	0.071	1.113	0.16	2.504	0.000	Paso	0.004	Paso
	1	345	0.046	0.608	0.104	1.368	0.000	Paso	0.004	Paso
Z35	2	270	0.111	1.754	0.25	3.947	0.000	Paso	0.007	No paso
	1	345	0.073	0.958	0.164	2.156	0.000	Paso	0.006	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 58:** Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 2 pisos medios y bajos

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	Vm	Control
Z10	W2	0.13	18	47.01	13.14	48.67	1.00	70.48	Paso
	W8	0.23	4	23.26	4.32	9.36	1.00	28.81	Paso
	W1	0.13	18	38.16	13.15	49.28	1.00	68.45	Paso
	W3	0.13	6	13.6	13.94	34.17	1.00	23.02	No paso
	W4	0.23	1.5	14.75	8.51	17.17	0.74	9.93	No paso
Z25	W2	0.13	18	47.01	24.63	91.25	1.00	70.48	Paso
	W8	0.23	4	23.26	8.1	17.55	1.00	28.81	Paso
	W1	0.13	18	38.16	24.66	92.4	1.00	68.45	Paso
	W3	0.13	6	13.6	26.13	64.07	1.00	23.02	No paso
	W4	0.23	1.5	14.75	15.95	32.19	0.74	9.93	No paso
Z35	W2	0.13	18	47.01	38.8	143.72	1.00	70.48	No paso
	W8	0.23	4	23.26	12.76	27.64	1.00	28.81	Paso
	W1	0.13	18	38.16	38.16	145.53	1.00	68.45	No paso
	W3	0.13	6	13.6	41.16	100.91	1.00	23.02	No paso

W4 0.23 1.5 14.75 25.12 50.69 0.74 9.93 No paso

USANDO VALORES MEDIOS (MODELO 3)

3 niveles

DERIVAS

**Tabla 59:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores medios de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	3	270	0.084	1.138	0.189	2.561	0.000	Paso	0.002	Paso
	2	270	0.066	0.841	0.149	1.892	0.000	Paso	0.004	Paso
	1	345	0.038	0.405	0.086	0.911	0.000	Paso	0.003	Paso
Z25	3	270	0.158	2.134	0.356	4.802	0.000	Paso	0.005	Paso
	2	270	0.124	1.577	0.279	3.548	0.000	Paso	0.007	No paso
	1	345	0.071	0.759	0.16	1.708	0.000	Paso	0.005	Paso
Z35	3	270	0.249	3.361	0.56	7.562	0.000	Paso	0.007	No paso
	2	270	0.195	2.484	0.439	5.589	0.001	Paso	0.011	No paso
	1	345	0.112	1.195	0.252	2.689	0.001	Paso	0.008	No paso

*FUENTE:* Elaborado por el equipo de trabajo

CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 60:** Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 3 pisos medio

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	Vm	Control
Z10	W2	0.13	18	59.87	19.9	95.17	1.00	73.44	Paso
	W8	0.23	4	32.17	6.25	11.69	1.00	30.86	Paso
	W1	0.13	18	59.87	19.9	95.17	1.00	73.44	Paso
	W3	0.13	6	21.56	17.78	50.55	1.00	24.85	No paso
	W4	0.23	1.5	20.13	8.65	19.08	0.68	10.61	No paso
	W6	0.23	1.5	20.13	8.65	19.08	0.68	10.61	No paso
Z25	W2	0.13	18	59.87	37.31	178.45	1.00	73.44	Paso
	W8	0.23	4	32.17	11.71	27.54	1.00	30.86	Paso
	W1	0.13	18	59.87	33.32	178.45	1.00	73.44	Paso
	W3	0.13	6	21.56	33.35	94.78	1.00	24.85	No paso
	W4	0.23	1.5	20.13	16.22	35.77	0.68	10.61	No paso
	W6	0.23	1.5	20.13	16.22	35.77	0.68	10.61	No paso
Z35	W2	0.13	18	59.87	58.79	281.05	1.00	73.44	No paso

	W8	0.23	4	32.17	18.44	43.38	1.00	30.86	No paso
	W1	0.13	18	59.87	58.79	281.05	1.00	73.44	No paso
	W3	0.13	6	21.56	52.52	149.29	1.00	24.85	No paso
	W4	0.23	1.5	20.13	25.54	56.34	0.68	10.61	No paso
	W6	0.23	1.5	20.13	25.54	56.34	0.68	10.61	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

## 2 niveles

### DERIVAS

**Tabla 61:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 2 niveles con valores medios de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
Z10	2	270	0.088	1.145	0.2	2.58	0.000	Paso	0.005	Paso
	1	345	0.048	0.528	0.11	1.19	0.000	Paso	0.003	Paso
Z25	2	270	0.165	2.147	0.37	4.83	0.001	Paso	0.010	No paso
	1	345	0.09	0.991	0.2	2.23	0.001	Paso	0.006	Paso
Z35	2	270	0.26	3.382	0.59	7.61	0.001	Paso	0.015	No paso
	1	345	0.142	1.56	0.32	3.51	0.001	Paso	0.010	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 62:** Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 2 pisos medio.

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	Vm	Control
Z10	W2	0.13	18	38.74	13.36	49.92	1.00	68.58	Paso
	W8	0.23	4	22.82	4.37	9.47	1.00	28.71	Paso
	W1	0.13	18	38.74	13.36	49.92	1.00	68.58	Paso
	W3	0.13	6	14.31	11.76	28.5	1.00	23.18	Paso
	W4	0.23	1.5	15.3	5.99	12.51	0.72	9.84	No paso
	W6	0.23	1.5	15.3	5.99	12.51	0.72	9.84	No paso
Z25	W2	0.13	18	38.74	25.05	93.61	1.00	68.58	Paso
	W8	0.23	4	22.82	8.2	17.76	1.00	28.71	Paso
	W1	0.13	18	38.74	25.05	93.61	1.00	68.58	Paso
	W3	0.13	6	14.31	22.05	53.43	1.00	23.18	No paso
	W4	0.23	1.5	15.3	11.23	23.45	0.72	9.84	No paso
	W6	0.23	1.5	15.3	11.23	23.45	0.72	9.84	No paso
Z35	W2	0.13	18	38.74	39.46	147.43	1.00	68.58	No paso
	W8	0.23	4	22.82	12.91	27.98	1.00	28.71	Paso

	W1	0.13	18	38.74	39.46	147.43	1.00	68.58	No paso
	W3	0.13	6	14.31	34.73	84.15	1.00	23.18	No paso
	W4	0.23	1.5	15.3	17.69	36.94	0.72	9.84	No paso
	W6	0.23	1.5	15.3	17.69	36.94	0.72	9.84	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### USANDO VALORES SUPERIORES (MODELO 4)

#### 3 niveles

#### DERIVAS

**Tabla 63:** Desplazamientos y Derivas para la vivienda de 3 niveles con valores Superiores de densidad de muros

Espectro	Piso	H(cm)	Despl.Elasticos		Despl.reales		Deriva			
			X(cm)	Y(cm)	X(cm)	Y(cm)	X	PASO?	Y	PASO?
	3	270	0.063	0.98	0.14	2.21	0.000	Paso	0.002	Paso
	2	270	0.05	0.728	0.11	1.64	0.000	Paso	0.003	Paso
	1	345	0.03	0.353	0.07	0.79	0.000	Paso	0.002	Paso
	3	270	0.118	1.837	0.27	4.13	0.000	Paso	0.004	Paso
	2	270	0.095	1.364	0.21	3.07	0.000	Paso	0.006	Paso
	1	345	0.056	0.662	0.13	1.49	0.000	Paso	0.004	Paso
	3	270	0.186	2.893	0.42	6.51	0.000	Paso	0.006	No paso
	2	270	0.149	2.149	0.34	4.84	0.001	Paso	0.019	No paso
	1	345	0.087	1.043	0.2	2.35	0.001	Paso	0.007	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

### CONTROL DE AGRIETAMIENTO

**Tabla 64:** Control de agrietamiento y efectos de diferente tipo de sismo que la provoca, edificio de 3 pisos superiores.

	Muro	T(m)	L(m)	PG	VE	ME	$\alpha$	Vm	Control	
	W2	0.23	18	89.78	27.74	132.93	1.00	126.22	Paso	
	W1	0.23	18	89.78	27.74	132.93	1.00	126.22	Paso	
	W3	0.13	6	17.86	16.95	45.38	1.00	24.00	No paso	
	W5	0.23	1.5	17.18	4.46	9.47	0.71	10.17	Paso	
	W7	0.23	1.5	17.18	4.46	9.47	0.71	10.17	Paso	
	W4	0.23	1.5	16.84	7.71	16.92	0.68	9.89	No paso	
	W6	0.23	1.5	16.84	7.71	16.92	0.68	9.89	No paso	
	W2	0.23	18	89.78	52.01	249.24	1.00	126.22	Paso	
	W1	0.23	18	89.78	52.01	249.24	1.00	126.22	Paso	
	W3	0.13	6	17.86	31.78	85.93	1.00	24.00	No paso	
	W5	0.23	1.5	17.18	8.35	17.75	0.71	10.17	No paso	
	W7	0.23	1.5	17.18	8.35	17.75	0.71	10.17	No paso	
	W4	0.23	1.5	16.84	14.46	31.69	0.68	9.89	No paso	
	W6	0.23	1.5	16.84	14.46	31.69	0.68	9.89	No paso	
	Z35	W2	0.23	18	89.78	81.93	392.56	1.00	126.22	No paso

	W1	0.23	18	89.78	81.93	392.56	1.00	126.22	No paso
	W3	0.13	6	17.86	50.05	134.02	1.00	24.00	No paso
	W5	0.23	1.5	17.18	13.16	27.96	0.71	10.17	No paso
	W7	0.23	1.5	17.18	13.16	27.96	0.71	10.17	No paso
	W4	0.23	1.5	16.84	22.78	49.92	0.68	9.89	No paso
	W6	0.23	1.5	16.84	22.78	49.92	0.68	9.89	No paso

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

**c. Resumen de las pruebas estructurales en viviendas de albañilería confinada:**

**Tabla 65:** Resumen de las pruebas estructurales en albañilería Confinada

MODELO	Piso	Z10		Z25		Z35	
		No pasan	Pasan	No pasan	Pasan	No pasan	Pasan
4	3	3	3	4	2	6	0
3	3	3	3	3	3	6	0
	2	2	4	3	3	5	1
2	2	2	3	2	3	4	1
1	4	2	2	4	0	4	0
	3	2	2	3	1	4	0
	2	1	3	1	3	2	2

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

**Tabla 66:** Calificación y Determinación de grados de vulnerabilidad de cada modelo

MODELO	Piso	VULNERABILIDAD	DENSIDAD MÍNIMA			DENSIDAD EXIST.		CONTROL	
			Z10	Z25	Z35	X	Y	X	Y
			4	3	ALTA	0.006	0.016	0.029	7.50%
3	3	ALTA	0.006	0.016	0.029	5.60%	2%	CUMPLE	CUMPLE
	2	ALTA	0.004	0.011	0.019	5.60%	2%	CUMPLE	CUMPLE
2	2	ALTA	0.004	0.011	0.019	5.20%	1%	CUMPLE	CUMPLE
1	4	ALTA	0.009	0.021	0.039	3.70%	1%	CUMPLE	CUMPLE
	3	ALTA	0.006	0.016	0.029	3.70%	1%	CUMPLE	CUMPLE
	2	ALTA	0.004	0.011	0.019	3.70%	1%	CUMPLE	CUMPLE

*FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*

Para determinar la densidad mínima de muros se han utilizado los siguientes valores según la normativa E070 Albañilería:

Z= Varía dependiendo de la intensidad sísmica evaluada (0.10g, 0.25g, 0.35g)



U= se considera un uso común =1

S= 1.2 debido a que la mayor parte del sector de la Urbanización Enace es suelo blando.

N= varía dependiendo de las pruebas estructurales (4, 3 y 2 nivel)

La densidad de muros presente en el resultado de los datos tradicionales, y sus interpolaciones para 4 modelos estructurales.

El control que ve en la última columna se describe al control de agrietamiento diagonal, especificado en el estándar de albañilería E070:

### **Control de Fisuración**

El E.030 del RNE-2018 indica que los muros que componen la estructura deben estar libres de fisuras en caso de sismo moderado, lo que se puede comprobar mediante la siguiente expresión:

$$V_e \leq 0.55V_m$$

Siendo  $V_e$  el cortante actuante, que para el presente trabajo de investigación varía en función al espectro de respuesta. Y la  $V_m$  es la resistencia a cortante del muro:

Se realiza una evaluación para cada muro, consiguiendo los siguientes resultados:

$$V_m = 0.5v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23P_g$$

Donde:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e \cdot L}{M_e} \leq 1$$

#### d. Gráficas para determinar el grado de Vulnerabilidad en Viviendas de Albañilería:

Para determinar la vulnerabilidad sísmica en nuestras viviendas de albañilería se analiza la disposición de cada prueba estructural con la categorización de “PASA” O “NO PASA”, referente al control de figuración diagonal.

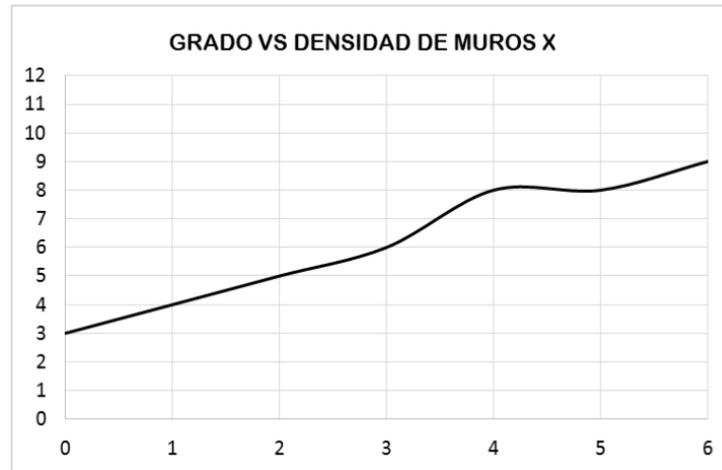
- La vivienda que expresa al menos un “NO PASA” en una dirección ante un sismo LEVE (0.10g) el grado de vulnerabilidad será ALTO.
- La vivienda que expresa al menos un “NO PASA” en una dirección para un sismo MODERADO (0.25g) el grado de vulnerabilidad será MEDIO.
- La vivienda que expresa al menos un “NO PASA” en una dirección para un sismo SEVERO (0.35g) el grado de vulnerabilidad será BAJO.

Finalizando con este punto de vista se logra ejecutar los gráficos de Grado (corresponde al número de modelo estructural) versus las densidades de muros en cada dirección en:

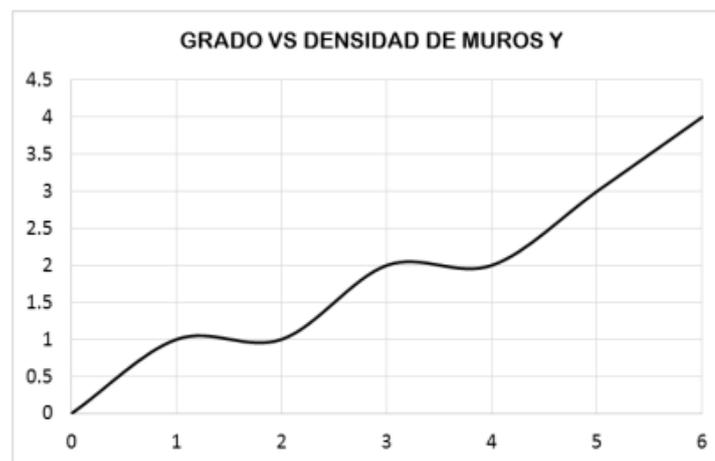
**Tabla 67:** Densidad de muros y modelos de los que salieron.

	PORCENTAJE MODELO	
X	9	6
	8	5
	8	4
	6	3
	5	2
	4	1
	3	0
Y	4	6
	3	5
	2	4
	2	3
	1	2
	1	1
	0	0

**FUENTE:** Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 53:** Grado modelo vs densidad de muros (porcentaje) en X



**Figura 54:** Grado modelo vs densidad de muros (porcentaje) en Y

De acuerdo a la proyección de la gráfica se estiman los valores sombreados, y así poder determinar una categoría más, no se sugiere proyectar a mas valores debido a la dificultad del análisis con el que debemos llegar.

## REPORTE DE LOS RESULTADOS

EVALUACION DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES DE CONCRETO (\*) **ALTA SISMICIDAD**  
UPAO – 2014 Reporte de resultados para propietarios **Z=4**

DIRECCION: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 AÑO DE CONSTRUCCION: \_\_\_\_\_ USO: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DE LA EDIFICACION: \_\_\_\_\_  
 INSPECTOR: \_\_\_\_\_

**1. VULNERABILIDAD GENERAL**

RECOMENDACION	
<input type="checkbox"/> ALTA	Esta edificación presenta una deficiente resistencia a sismos de Baja intensidad, se recomienda un reforzamiento estructural realizado en coordinación con un profesional especializado en <b>ESTRUCTURAS</b> . Sin un reforzamiento, cualquier incremento de pisos hará aun mayor su inseguridad.
<input type="checkbox"/> MEDIANA	Esta edificación presenta una deficiente resistencia a sismos de Mediana intensidad, se recomienda un reforzamiento estructural realizado en coordinación con un profesional especializado en <b>ESTRUCTURAS</b> . Sin un reforzamiento, cualquier incremento de pisos hará aun mayor su inseguridad.
<input type="checkbox"/> BAJA	Esta edificación presenta una deficiente resistencia a sismos de Alta intensidad, NO se recomienda un reforzamiento estructural a menos que quiera construir mas pisos, para lo cual deberá hacerlo en coordinación con un profesional especializado en <b>ESTRUCTURAS</b> . El numero maximo de pisos a los que podria llegar sin reforzamiento son:

**2. AMENAZAS POTENCIALES**

RECOMENDACION	
<input type="checkbox"/> Desplome de muro	Llegar a un acuerdo con su vecino para poder asegurar los elementos que pueden provocar, por su caída, un accidente o un impacto en su techo. Estos elementos usualmente se refuerzan con columnas o columnetas de concreto, pero podrian usarse otras opciones con la coordinacion de un <b>Ingeniero Estructural</b> .
<input type="checkbox"/> Tanque en pendulo	Se debe construir una losa con minimo 3 apoyos, la losa debe ser resistente al peso del tanque y ademas debe estar reforzada con vigas y viguetas. Otra opcion podria ser apoyar el tanque sobre el techo del ultimo piso y no tratar de llevarla mas arriba si la economia no permite la construccion de una losa.
<input type="checkbox"/> Poste de alumbrado	Si el poste esta en el ingreso, puede solicitar a la empresa de suministro electrico que lo desplace a un lugar que no le impida una evacuacion en caso de sismos. En caso de encontrarse muy cerca de su propiedad debera solicitar igual el cambio de posicion debido a que en un evento sismico el poste vibra y esto le puede ocasionar un chicoteo contra su edificacion. Si el poste se encuentra en una posicion diferente a las mencionadas no habra que solicitar el cambio.

**3. FALLAS ESTRUCTURALES**

RECOMENDACION	
<input type="checkbox"/> Piso blando	Se tendrá que reforzar la edificación, se tendrá que trabajar en coordinación con un Ingeniero Estructural para poder determinar el tipo de reforzamiento. Una medida de prevención puede ser reemplazar los muros de pisos superiores por tabiques tipo Drywall.
<input type="checkbox"/> Muro sin confinar	Se debe asegurar los muros con columnas.
<input type="checkbox"/> Columna corta	Se deben construir juntas en las conexiones del muro con la columna. Estas juntas estan acompañadas de elementos de confinamiento en los extremos del muro, si este esta en pisos superiores, si se trata de un primer pisos puede solo requerir la junta.
<input type="checkbox"/> Junta sismica	Es necesario trabajar en coordinación con un Ingeniero Estructural para planificar avances en la construcción de la edificación, una medida preventiva podria ser aumentar la cantidad de muros que empiecen en el primer piso y continúen hasta el ultimo.

Figura 55: Reporte de resultados para los propietarios. Formato UPAO 2014



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Amenaza sísmica

Considerando el desarrollo para la estimación de la amenaza sísmica, se muestran los resultados obtenidos. En primer lugar, mediante las correlaciones empíricas que dependen del Ngolpe del SPT, corregida y determinada en campo se especifican los modelos de velocidad de onda obtenida dependiendo. Luego se describen las distribuciones de los sitios según el RNE-2018, NEHRP y USGS, en función del parámetro  $V_s 30$ . Luego obtenemos los espectros de respuesta elástica determinadas por el Análisis Equivalente Lineal, en cada sitio. También se muestra los espectros suavizados en cada lugar y la comparación con el espectro de diseño de la normativa E0.30.

##### 4.1.2. Modelos de Velocidad de Onda de Corte

Se propone un modelo de velocidad de onda en cada uno de los sitios, con velocidades obtenidas a través de las correlaciones empíricas, dependiendo del Ngolpe del SPT, como son tanto el corregido y determinada en campo. Entonces las velocidades se calcularon con la profundidad que disponía la información del SPT, después se proyectaron a una profundidad mínima de 30 m.

##### 4.1.3. Clasificación de sitio

Considerando la Norma E030, NEHRP y USGS se realiza la clasificación del sitio. Para ello, se utilizó el parámetro  $V_s 30$ ; la cual se determinó mediante las velocidades de onda estimadas con  $N_{\text{corregido}}$ , para cada una de las tres hipótesis. Para obtener la

clasificación del sitio se utilizó el promedio de los Vs 30 obtenidos con cada hipótesis, y así obtener un Vs 30 único para el sitio.

<b>Hipótesis</b>	<b>Vs 30</b>	<b>Norma E030</b>	<b>NEHRP</b>	<b>USGS</b>
Pendiente Promedio	374	S2	D	C
Pendiente Directa	356	S2	D	C
Vs Proyectada	296	S2	D	C
<b>Promedio</b>	<b>342</b>	<b>S2</b>	<b>D</b>	<b>C</b>

Según la Norma E030, el suelo se clasifica como suelo intermedio, este para las tres hipótesis y promedio Vs calculado a partir de ellas; el Vs promedio está en el rango de  $180 \leq V_s \leq 360$  m/s. La NEHRP, lo clasifica como Suelo rígido; ya que los valores se encuentran contenido en el intervalo de  $360 \geq V_s \geq 180$  m/s.

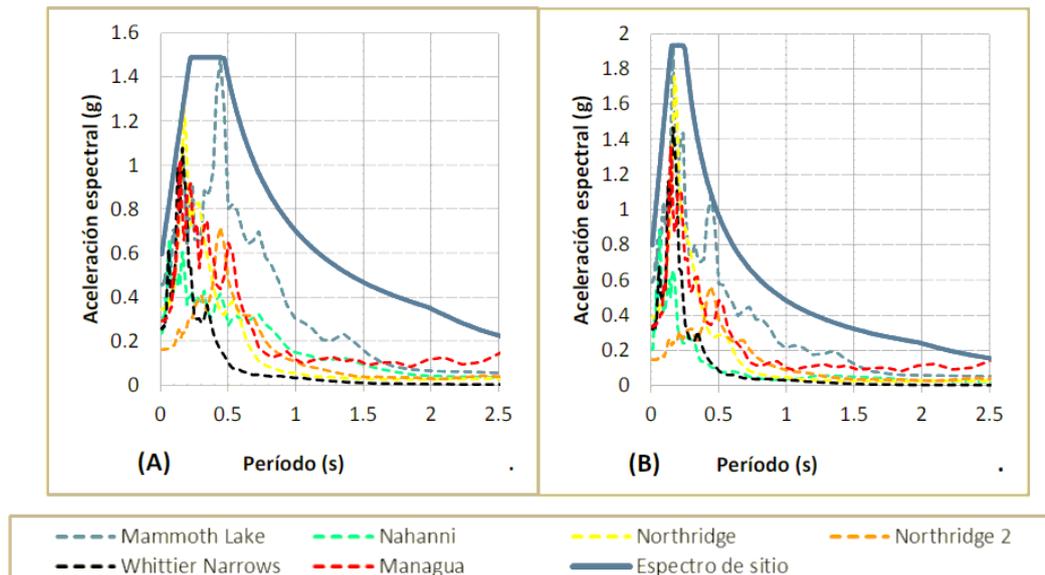
#### **4.1.4. Respuesta sísmica de sitio.**

Teniendo en cuenta los modelos de velocidad de onda de corte, pesos volumétricos de los suelos, se definen las curvas de deformación y amortiguamiento, también se determina la respuesta sísmica de sitio mediante el Análisis equivalente lineal en Deepsoil. Se producirán espectros de respuesta elástica para cada sismo, calculados con un 5% de amortiguamiento; De la misma manera, se determinaron los espectros de envolvente suave en cada sitio para compararlos con el espectro de diseño E030.

##### **4.1.4.1. Espectros respuesta elástica.**

En nuestra área de Estudio se identificaron diferentes resultados en las aceleraciones máximas en los espectros y los rangos de periodos que las contienen, entre

los sitios de Jallihuaya y Chejoña. Las características dinámicas de los suelos de ambas áreas de estudio son diferentes, por lo que se debe a la variación de los resultados.

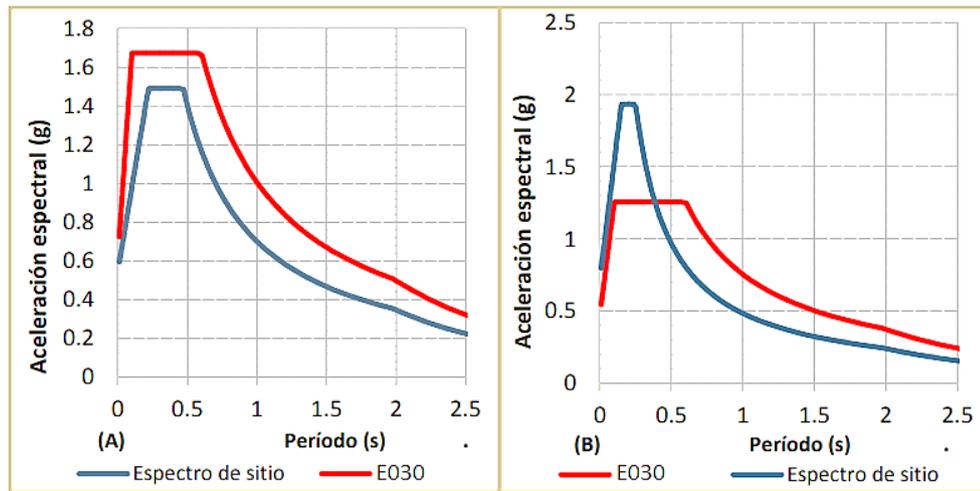


*Figura 56. Espectros de respuesta en relación de la aceleración.*

Para los sismos de la base de datos del DEEPSOIL se identificaron aceleraciones máximas de 1.28 g y 1.15 g, Entonces los valores de las aceleraciones máximas espectrales de los sismos evaluados, se determinaron en el rango de periodos cortos de 0,15 s a 0,41 s.

#### **4.1.4.2. Espectros suavizados y comparación con el espectro de diseño E030**

La E030 dispone una manera para obtener espectros de respuesta; teniendo en cuenta las características de los suelos con los que se constituye el espectro de diseño para cada zona sísmica del País. Se observa la comparación de los espectros de sitio con el espectro de diseño del E0.30, transponiendo los espectros.



*Figura 57: Comparación de espectros suavizados de la respuesta de sitio con el Espectro de diseño de la E030*

Se desarrolló un espectro suavizado con aceleraciones espectrales máximas de 1.35 g, con una superficie constante de 0.21 s a 0.475s, períodos aproximadamente cortos. Para este tipo de sitio el E0.30 establece una aceleración máxima de 1.63 g, que es 0.14 g la diferencia espectral máxima encontrada es de 10,5% más que la aceleración del sitio. Asimismo, se obtuvo valores espectrales de 1.89 g, mayor a lo establecido en E0.30, que acelera 12.5%. Las aceleraciones máximas del sitio se definieron con una superficie constante de 0,15 s a 0,25 s, que son períodos cortos.

#### **4.1.5. Características patológicas de la muestra**

La representatividad de las 09 edificaciones en estudio, son las edificaciones con sistema estructural de albañilería. A continuación, se describen las observaciones de las viviendas durante la toma de datos en campo.

##### **4.1.5.1. Densidad de muros inadecuada**

Para obtener comportamientos eficientes en un escenario sísmico, es sumamente importantes que la edificación cuente con un porcentaje límite de acuerdo al reglamento.

Por lo general la mayoría de nuestras viviendas en estudio no cumplió con la densidad de muros principalmente en la dirección X.



*Figura 58: Se observa muros en un solo eje.*

#### **4.1.5.2. Tabiquería no arriostrada**

Las edificaciones de más de un nivel que se encuentran en proceso de construcción, constituyen tabiques y parapetos no arriostrados, aumentando el nivel de vulnerabilidad en estas edificaciones.



*Figura 59: parapetos no arriostrados*

#### **4.1.5.3. Deficiencia de junta sísmica**

De nuestras viviendas en estudio ninguna de las 09 viviendas, cuentan con juntas sísmicas laterales entre cada vivienda. La falta de juntas sísmicas, provoca el golpeteo e impacto entre las edificaciones, ocasionando impactos entre ellas y posible colapso, concentrando una fuerza, lo cual no se ha considerado en los modelos.



*Figura 60: Desnivel de pisos y no existe junta sísmica entre viviendas*

#### **4.1.5.4. Muros portantes y no portantes de ladrillo pandereta**

Las viviendas que constituyen segundo nivel para arriba, se observa que tiene este problema. Los propietarios construyen voladizos sobre estos techos, empleando tabiquería tipo pandereta.

Se identifican que este de muro, manifiestan fallas frágiles, así pudiendo ocasionar durante un sismo su colapso por volteo. Por lo general el uso de esta unidad de albañilería es por el menor costo respecto a la unidad King Kong.



*Figura 61: Vivienda de dos niveles con ladrillo Pandereta*

#### 4.1.5.5. Vacíos en elementos de concreto

La cangrejera se considera como un vacío en el elemento de concreto, las razones son por el mal uso de los agregados esto ocurre en la mayoría de los elementos de concreto, también afecta la mala vibración, este problema constituye partes débiles dentro del elemento. En la actualidad se observó, algunas viviendas en estudio con este problema.



*Figura 62: columnas con cangrejas*

#### 4.1.5.6. Barras de Refuerzo corroído

La corrosión de las barras de refuerzo de acero es básicamente una reacción electroquímica, esto sucede por la constante exposición a agentes del medio ambiente. Este problema se observó en los elementos estructurales tales como son vigas, columna y losa aligerada de las viviendas en la zona de Estudio.



*Figura 63: Fierro descubierto y corroído de la losa del techo.*

#### 4.1.6. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica

Se consideró el Formato UPAO en la evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de las Edificaciones de Concreto Armado y Albañilería, donde se evalúa el área construida, el área de corte, el factor de vulnerabilidad, la amenaza potencial, fallas y el tipo de sistema estructural (aporticado o albañilería confinada) que presenta la edificación, determinándose el grado de vulnerabilidad de cada una.

Al realizarse los procedimientos anteriores se obtuvieron estimaciones importantes sobre el nivel de la vulnerabilidad y las derivas por direcciones de ambos sistemas estructurales, las cuales son presentadas en las siguientes tablas:

## VULNERABILIDAD GENERAL DE LA URBANIZACIÓN Enace CENTRO POBLADO DE SALCEDO:

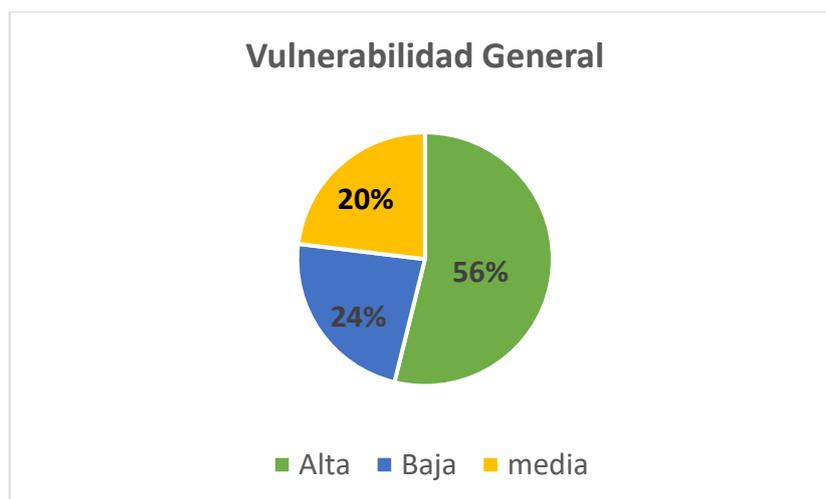
El nivel de la Vulnerabilidad Sísmica de La Urbanización Enace es mostrada por la vulnerabilidad general del sitio en estudio. Mediante esta información podemos saber la situación actual de las edificaciones en estudio.

Se considera a las viviendas con VULNERABILIDAD ALTA, las que tienen deficiencia de resistencia a sismos de intensidad Baja

Se considera a las viviendas con VULNERABILIDAD MEDIA, las que tienen deficiencia en la resistencia a sismos de intensidad Media.

Se considera a las viviendas con VULNERABILIDAD BAJA, las que tienen deficiente en la resistencia a sismos de intensidad Alta

La vulnerabilidad sísmica de las 09 viviendas en estudio, es alta 05 viviendas con un 56%, y 02 viviendas solo un 24% tiene baja vulnerabilidad y 02 vulnerabilidad media con un 20%.



**Figura 64:** Vulnerabilidad General para edificaciones de concreto Armado y  
Albañilería

## VULNERABILIDAD POR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL:

**Vulnerabilidad de Viviendas de Concreto Armado (Aportado):****Tabla 68:** Aporte a la vulnerabilidad general, por parte de las edificaciones de concreto Armado

Viviendas de Concreto Armado (Aportado)		10%
<b>VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>APORTE</b>
Vulnerabilidad Alta	50%	5%
Vulnerabilidad Baja	30%	3%
Vulnerabilidad Media	20%	2%

EL APORTE, representa a la Vulnerabilidad en Edificaciones de concreto armado en términos de todo la Urbanización.

**Vulnerabilidad de Viviendas de Albañilería Confinada:****Tabla 69:** Aporte a la vulnerabilidad general, por parte de las edificaciones de Albañilería Confinada

Viviendas de Albañilería		90%
<b>VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>APORTE</b>
Vulnerabilidad Alta	57%	51%
Vulnerabilidad Baja	23%	21%
Vulnerabilidad Media	20%	18%

EL APORTE, representa a la Vulnerabilidad en Edificaciones de albañilería confinada en términos de todo la Urbanización.

## VULNERABILIDAD TOTAL DE LA ZONA EN ESTUDIO:

<b>VULNERABILIDAD ALTA</b>	
VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO (Aportado)	5%
VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	51%
<b>TOTAL</b>	<b>56%</b>

- En la Urbanización Enace, el 56% de las viviendas presentan un grado Alto de Vulnerabilidad Sísmica Estructural.



<b>VULNERABILIDAD MEDIA</b>	
VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO (Aporticado)	2%
VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	18%
<b>TOTAL</b>	<b>24%</b>

- En la Urbanización Enace, el 24% de las viviendas se estima un grado Medio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural.

<b>VULNERABILIDAD MEDIA</b>	
VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO (Aporticado)	3%
VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	21%

- En la Urbanización Enace, el 24% de las viviendas se estima un grado Bajo de Vulnerabilidad Sísmica Estructural.

#### 4.1.7. Evaluación del Riesgo Sísmica

El riesgo sísmico es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro. En este caso, se evalúa el peligro sísmico, utilizando la siguiente expresión:

$$R_{ie|t} = f(P_i, V_e)|_t$$

Para estimar el riesgo sísmico, se hace uso de la matriz de doble entrada, en donde los niveles de peligro están reflejados en las filas y los niveles de vulnerabilidad en las columnas:

**Tabla 70:** Matriz de doble entrada para el cálculo del riesgo sísmico

Peligro Muy Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio
P/V	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

El Peligro es medio con un 43% y una Vulnerabilidad Alta de un 56%. Finalmente, el riesgo es Alto. Los valores obtenidos van de la mano de los resultados de densidad de muros, y adecuado proceso constructivo que son uno de los factores más incidentes. Se estima un riesgo sísmico alto en las viviendas a ser afectadas por un sismo es alto. Es fundamental reducir mediante las propuestas de reforzamiento la alta vulnerabilidad de estas viviendas, así mismo podemos evitar futuras pérdidas de vidas y económicas.

## 4.2. DISCUSIÓN

En esta investigación al determinar el nivel de riesgo sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de Concreto Armado y Albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno, se pudo encontrar que tiene un nivel ALTO, esto quiere decir que el Riesgo sísmico depende de la vulnerabilidad y del peligro sísmico, frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, donde refiera que existe un ALTO grado de Riesgo Sísmico. Llegan a concluir según Lantada (2007), donde las viviendas de albañilería con altura considerable



son los que sufren mayor daño ante un sismo mientras que con altura baja sufren menos daño que los edificios de concreto armado de la misma clase. Por último afirma que la vulnerabilidad de las edificaciones de Barcelona está entre moderada y alta, Analizando estos resultados podemos ver que las edificaciones de albañilería con baja altura sufren menos daño como las viviendas de concreto armado, teniendo en cuenta que su proceso constructivo es supervisada y asesorada, mientras que una vivienda de albañilería con altura aumenta los daños, entonces tienen mayor riesgo sísmico, en su análisis.

Al Analizar el nivel de peligro sísmico ante un evento sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de concreto armado y albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno, se pudo encontrar que, tiene un nivel MEDIO, esto quiere decir que el peligro sísmico en una Zona urbana depende de la ubicación, lugar donde estas construidas estas edificaciones, frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, donde refiere que existe un grado MEDIO en peligro sísmico. Llegando a la conclusión según Lantada (2013) de que la vulnerabilidad de las 30 viviendas encuestadas en Trujillo, es alta con un 83%, y tan sólo un 7% tiene baja vulnerabilidad. El Peligro es medio con un 83% de las viviendas, y el resto tiene un alto peligro. Finalmente, el riesgo es alto con un 87%, y la diferencia tiene un riesgo medio. No resultando ninguna vivienda con riesgo bajo. Los resultados obtenidos van de la mano con la densidad de muros, que es uno de los factores más incidentes. Analizando estos resultados podemos ver que, el peligro sísmico mas depende de la zona de ubicación, y el tipo de suelo donde se ubica la edificación.

Al evaluar el grado vulnerabilidad sísmica ante un evento sísmico en modelos estructurales basados en edificaciones de concreto armado y albañilería en la “Urbanización Enace”, de la ciudad de Puno, se pudo encontrar que: presenta un grado ALTO de un 56% de las cuales el 51% representa a viviendas de Albañilería y 7% a



viviendas de Concreto armado, se estima un grado MEDIO de un 24% y de grado BAJO de un 24%, Esto quiere decir que la Vulnerabilidad sísmica depende del diseño sismo resistente, calidad de los materiales, y del proceso constructivo que presenta la construcción, frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, donde refiera que existe un ALTO grado de Vulnerabilidad Sísmica. Estos resultados son respaldados por Rojas (2015) donde indica que las edificaciones diseñadas con la norma antigua tienen alta vulnerabilidad que las edificaciones diseñadas con la norma actual, lo cual genera daños y niveles de riesgo sísmico mayores. Según Barrueta (2019) donde dice que las edificaciones hechas con solo elementos de concreto armado es más rígida ya que tiene menor periodo que la edificación mixta que posee elementos de albañilería confinada. De igual forma estos resultados son parecidos Arevalo (2020) indica que las viviendas construidas de manera informal, y de acuerdo al reglamento encontró principales diferencias sísmicas entre los tipos de construcción según el sector económica de la población, y esto afecta a la edificación en la mala distribución de la densidad de muros, en un eje no cumple con lo requerido en la norma y mientras que en el otro eje existe deficiencia de muros, identificado que frente a un sismo severo esto colapse por volteo. Analizando estos resultados podemos decir por falta de información en construcción, por la deficiencia en el diseño sismo resistente y por el incumplimiento de las normas peruanas, cada vez aumenta la vulnerabilidad sísmica en las viviendas tanto de albañilería confinada y de concreto armado.

### **4.3. PROPUESTAS DE REFORZAMIENTO DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA**

#### **4.3.1. Resumen ejecutivo**

- Analizando las estimaciones de la vulnerabilidad sísmica, se obtuvo que el 90 % de las viviendas de la Urbanización Enace Puno son de albañilería, continuo por un 10 % de las viviendas de concreto Armado. La representatividad de la



muestra nos ayuda a buscar técnicas apropiadas para el reforzamiento de las viviendas de albañilería y como también de las viviendas de concreto armado.

- Los resultados del estudio de riesgo sísmico de los sectores estudiados y considerando las viviendas representativas de la muestra, identifican que la vulnerabilidad media (con costo de reparación inferior al 30%) necesitarían reparaciones menores por tanto la inversión serían menor. Los de vulnerabilidad Alta, que serían aquellos que demanden intervención para su refuerzo. Como nuestro caso de las 07 viviendas estudiadas de albañilería, 04 necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las viviendas de concreto armado 01 requeriría de una intervención de reforzamiento.
- Las viviendas que tienen una vulnerabilidad alta, son las que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 04 viviendas y se estima que sería el 50% de las viviendas de la Urbanización, necesitarían, ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 60% de su valor. Se debe realizar una evaluación al detalle mediante un especialista en estructuras para proseguir con la intervención de la vivienda.
- Se presentan técnicas para el reforzamiento de muros, columnas y cimentaciones, típicas de un reforzamiento en viviendas de albañilería. Prosiguiendo con el cumplimiento de las recomendaciones se logrará disminuir el daño de las edificaciones mediante la asesoría de un ingeniero en estructuras.  
(CISMID, 2013)

#### **4.3.2. Recomendaciones y Propuestas técnica de reforzamiento**

Con la finalidad de proponer la técnica de reforzamiento para las edificaciones en Urbanización Enace, se estudió la composición de la muestra levantada en campo. La

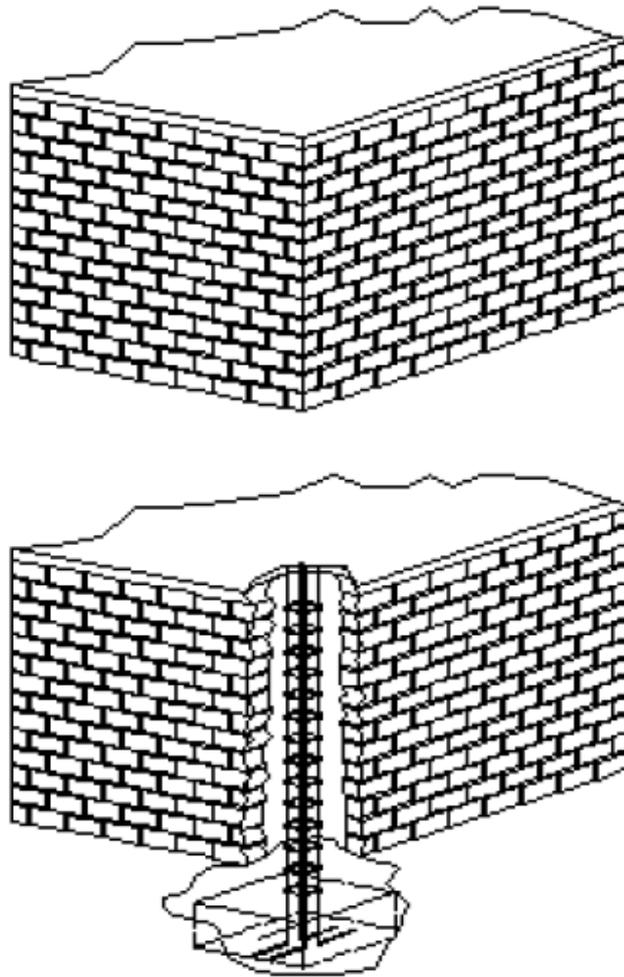


representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de albañilería y también las viviendas de concreto armado.

Las pautas son económicas y fáciles de seguir (no se involucran materiales raros ni técnicas complicadas), para no aumentar significativamente el costo y la dificultad de la construcción.

### **Propuestas para el reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de confinamiento**

Sabemos que las edificaciones de albañilería sin el correcto confinamiento representan un peligro para sus ocupantes, considerando que al no tener confinamientos existe la deficiencia de borde que puedan desarrollar en conjunto con las unidades de ladrillo la aparición de las fuerzas de tracción, de las cuales la albañilería es muy débil. Caso especial son los muros esquineros, sufriendo un comportamiento que generalmente se abrirán en las esquinas ante un escenario sísmico, originando el volteo fuera del plano de sus muros concurrentes. Por esta razón, la falta de confinamientos es necesario colocar columnas en los extremos a estos muros. Para lograr nuestro objetivo primero es necesario insertar una zapata dentro del cimiento corrido, de tal forma que las columnas de confinamiento puedan unirse al muro. Para lograrlo es importante demoler el muro en su esquina dejando un endentado, con el propósito de colocar la canastilla de refuerzo y posteriormente vaciar al elemento estructural. (CISMID, 2013)



*Figura 65: Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.*

### **Reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección**

Revisando la norma de diseño de albañilería NTE-070-RNE, la densidad de muros de una edificación, se define como la relación entre el área de muros estructurales de elementos área del área techada del nivel en estudio. Esta relación se encuentra entre el 4% al 5% del área techada en estudio, dependiendo de la zona sísmica, la aceleración esperada y el tipo de suelo. Cuando este parámetro no se cumple, se observará deficiencia en el tamaño o sección del muro. En este caso, ya que el muro existe, lo que generalmente se adopta es el refuerzo de este tipo de muro, consiste en envolver al muro con una malla

de fierro de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro con espacios de cada 10 cm en ambas direcciones. Este refuerzo puede realizarse con acero dúctil o con mallas electrosoldada.

En la se Figura 58 se muestra la secuencia del refuerzo de un muro de albañilería, considerando el incremento de la sección con la colocación de malla y recubrimiento.



*Figura 66: Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.*

Otra propuesta para el refuerzo es el uso de bandas en diagonal de malla o fierro dúctil, de manera que se refuercen aquellas zonas que estarán sometidas a las tracciones. Este refuerzo ha sido experimentado en CISMID con éxito, y representa una solución económica ya que se ahorra material y acero.

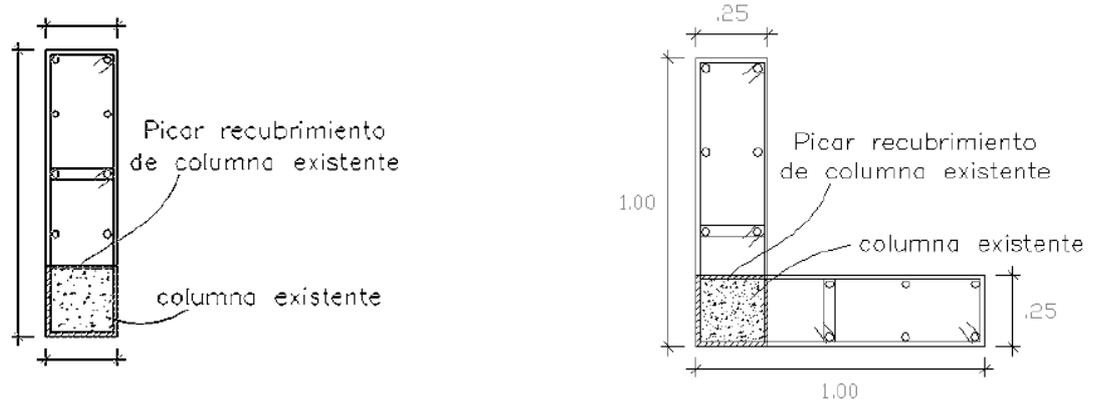




*Figura 67: Reforzamiento con bandas de refuerzo.*

### **Reforzamiento de Columnas de Concreto**

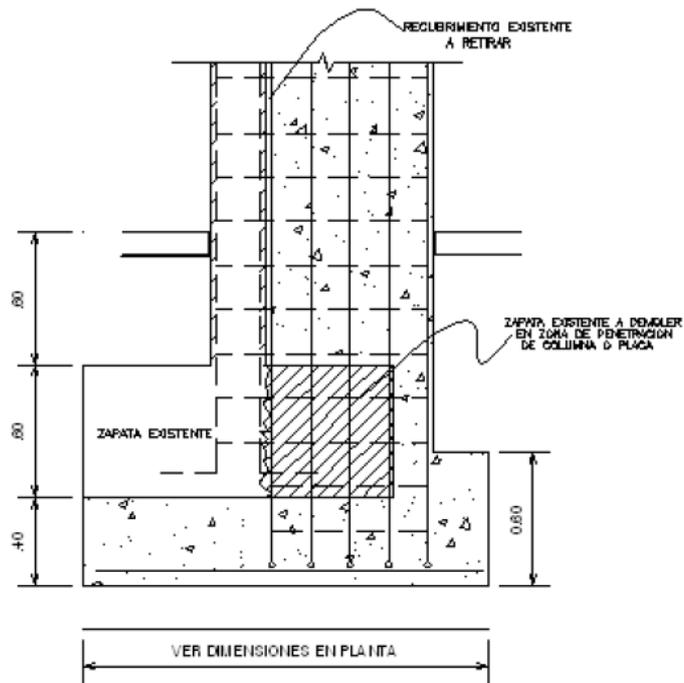
Sabemos que cuando existen deficiencias en las secciones de concreto es necesario realizar el incremento de la sección teniendo en cuenta la extracción del recubrimiento y el uso de resinas epóxicas para adherir el concreto nuevo con el concreto existente, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 62 se muestran dos casos de columna existente donde se requiere incrementar la sección. Se observa que el primer caso el incremento de la sección es en una dirección, mientras que, en el segundo caso, se considera una columna esquinera, donde la incremento se realiza en ambas direcciones. Para este proceso es necesario retirar el recubrimiento de la columna existente para aplicar una resina epóxica, luego procedemos a colocar el acero de refuerzo este debe ser anclado al refuerzo de la cimentación. Una vez colocado el refuerzo, se coloca el encofrado y seguidamente el nuevo concreto.



*Figura 68. Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera*

### **Reforzamiento de Zapata Existente de Columna**

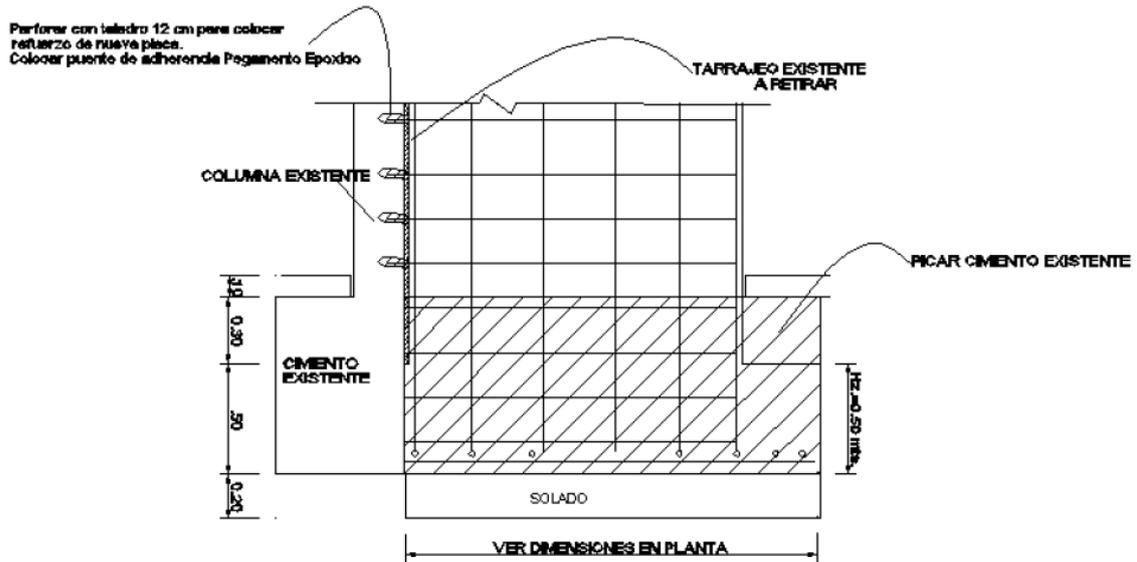
Considerando que cuando se refuerza un muro o una columna, es primordial el incremento de la sección de la cimentación ya que la inclusión del elemento generará momentos mayores sobre la base del elemento estructural. Caso contrario el comportamiento de la cimentación será deficiente para las cargas nuevas, por esta razón la sección de cimiento debe incrementarse. La Figura 63 muestra un detalle típico para el reforzamiento de una columna. Como podemos observar, parte del cimiento existente debe ser demolido, con el objetivo de incrementar la sección de la cimentación. Así como en las columnas es necesario el uso de resinas epóxicas para pegar el concreto existente con el nuevo concreto, al igual que la fijación de la nueva armadura del elemento a reforzar.



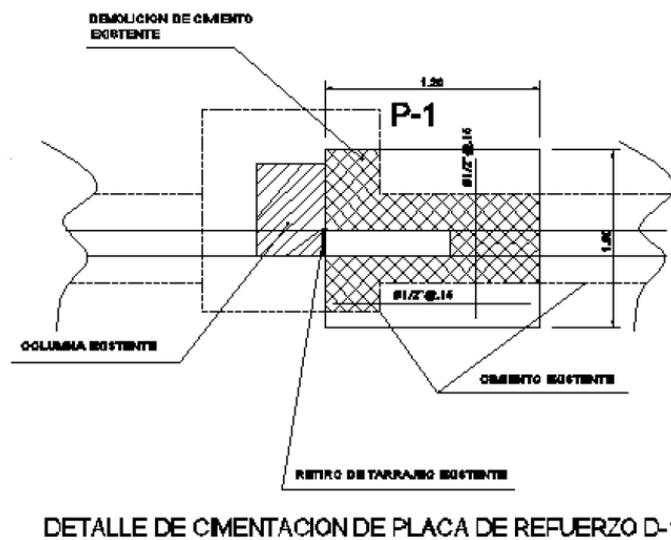
*Figura 69: Detalle de reforzamiento de zapata para columna.*

### **Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes**

En esta propuesta es importante considerar un buen empalme entre el elemento placa y la columna existente. Por tal razón se deben usar barras de transferencia a través de cajuelas que deben calarse sobre la columna existente, y como también en los elementos realizar un aumento del tamaño de su cimentación. La Figura 64 presenta un detalle donde se puede observar las cajuelas para colocar el puente de adherencia con barra de transferencia que sirva de anclaje entre la nueva armadura y la columna existente. Como también se debe de intervenir al cimiento de forma que pueda incluirse la cimentación de la nueva placa. La Figura 65 se observa el detalle en planta del cimiento incluido para la placa, de la forma que el cimiento existente y el cimiento nuevo puedan adherirse.



*Figura 70: Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.*



*Figura 71: Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.*

## RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN:

El objetivo esencial de las evaluaciones de riesgo sísmico es brindar información sobre los posibles daños físicos sobre las edificaciones y las posibles pérdidas (económicas y sociales) generadas en el proceso de degradación. Esta información es útil para proponer estrategias de reducción de riesgos, que consisten principalmente en la mitigación de los posibles daños a las edificaciones ante un determinado sismo.



Las medidas de fortalecimiento cumplen un papel fundamental en la reducción de la vulnerabilidad, ya que la cantidad de edificios existentes en cualquier centro urbano (incluidos los que están en construcción) es muchas veces mayor que los nuevos (en un período de tiempo razonable). En las zonas urbanas edificaciones nuevas sobre antiguos suele ser muy baja incluso en los países industrializados, donde esta tasa suele rondar el 1% anual, encontrando su máximo en torno al 8%, esto quiere decir que el número total de edificios antiguos no disminuye rápidamente.

Este ítem presenta un estudio preliminar sobre algunas medidas factibles para reducir la vulnerabilidad sísmica de las construcciones no diseñadas en “La Urbanización Enace - Salcedo”. Las soluciones propuestas se clasifican en recomendaciones de construcción y refuerzo; los primeros están destinados a nueva construcción mientras que los segundos son para edificaciones existentes. Se considera que toda medida aplicada, incluso por parte de los propietarios, debe ser técnicamente supervisada y ejecutada; es decir, en lugar de construcción sin ingeniería, debería denominarse autoconstrucción con ingeniería. Se presenta una evaluación económica de la relación beneficios inversión para las medidas de fortalecimiento.

### **Descripción general de las Edificaciones propuestas**

Los edificios propuestos serán similares a los existentes, ya que no se consideran desviaciones altas de las técnicas reales para evitar la necesidad de capacitar a las personas. Las más relevantes son:

- El número de pisos está absolutamente restringido a cuatro. La construcción puede ser progresiva, es decir, se levanta primero el primer piso y, cuando es necesario, se construye un segundo piso. El techo del último piso debe ser ligero.



- Los cerramientos y tabiques se cimientan sobre franjas de concreto armado. El beneficio esperado es garantizar una transmisión suave y uniforme de las tensiones verticales (para cargas de gravedad) y horizontales (para entradas sísmicas) al suelo. Los cimios de los muros servirán adicionalmente como amarres entre las zapatas de las columnas (evitando movimientos relativos entre ellas durante fuertes terremotos).
- Los muros longitudinales se refuerzan con barras horizontales de acero embebidas en lechos de mortero y ancladas en las columnas. Esta medida aumentará significativamente la resistencia a la compresión de la biela diagonal y los modos de falla fuera del plano; esto proporcionará más ductilidad.
- Los estribos están más cerca, especialmente cerca de las juntas (ya que las fuerzas de corte son mayores y se esperan rotulas de plástico); particularmente nunca excede la profundidad efectiva de la sección.
- Los edificios propuestos serán similares a los existentes, ya que no se consideran desviaciones altas de las técnicas reales para evitar la necesidad de capacitar a las personas. Las novedades más relevantes son: Beneficios: para evitar la falla prematura por cortante de vigas y columnas, para confinar el hormigón del núcleo y para garantizar la ductilidad (útil para rótulas plásticas).
- La resistencia de las secciones transversales de las vigas y de las columnas debe incrementarse aumentando la profundidad y la cantidad de refuerzo (y/o el límite elástico del acero). Las vigas tendrán 20 cm de ancho y 30 cm de largo, mientras que las columnas tendrán la misma sección ( $20 \times 30 \text{ cm}^2$ ), donde la dimensión más alta es en la dirección x (pórticos resistentes principales). Eventualmente, podría recomendarse el uso de secciones cuadradas ( $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ) para evitar las posibilidades de errores de construcción y de

excentricidades en las juntas. La capacidad de refuerzo se puede mejorar aumentando la cantidad o utilizando acero con un punto de fluencia más alto.

- El proceso de construcción es diferente, como se describe a continuación. La principal innovación consiste en levantar los muros antes que las columnas y vigas y adosarlos contra los muros. Los principales beneficios de esta estrategia son confinar los muros y aumentar su compresión vertical (mejora la resistencia a cortante, compresión diagonal y fuera del plano). Esta técnica ya se ha utilizado en otras casas sin ingeniería.

### **Detalles de construcción**

- El agua de excretas debe ser drenada al alcantarillado público para evitar posibles problemas de suelo por exceso local de agua (especialmente en las partes bajas del local).
- Las zapatas de las columnas deben tener, al menos, 50 cm de ancho (cuadrado) y 30 cm de alto. Los cimientos (en franjas) de las paredes deben tener, al menos, 50 cm de ancho y 30 cm de alto. Quiere decir que toda la base será rayada de 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad.
- El refuerzo para ambas cimentaciones debe ser, al menos, una malla electrosoldada de acero 10×10cm con 3/8” de diámetro. El anclaje se obtendrá mediante un enganche adecuado.
- Los ganchos de los estribos deben estar cerrados (135°). Beneficios: para mejorar el confinamiento del núcleo concreto.
- En las uniones entre vigas y columnas sus ejes deben ser coplanares (concurrentes) para evitar excentricidades. Sin embargo, si las secciones no son cuadradas (20 × 30 cm<sup>2</sup>), surgen algunas excentricidades menores entre los ejes de vigas y columnas si las vigas están alineadas con el lado externo de las



columnas; esta práctica no es recomendable pero los efectos (torsión en las columnas, por acciones laterales) no serán muy importantes (ya que la mayoría de las fuerzas horizontales serán llevadas directamente por las losas).

### **Recomendaciones adicionales**

- La edificación se apoya principalmente en los muros. Por lo tanto, no deberían, bajo ningún concepto, circunstancias, ser removido (incluso temporalmente) o perforado significativamente.
- Debe buscarse la simetría en planta. Fuentes de asimetría: escaleras de acero, amplias aberturas (en paredes exteriores). Los edificios asimétricos se pueden volver a simetrizar agregando paredes de relleno (que son coplanares con el marco) o cerrando aberturas. Beneficios: para evitar efectos de torsión.
- En sitios de construcción abruptos o irregulares, la simetría es aún más importante. Dado que las juntas de construcción son inviables, se deben colocar elementos rígidos (escaleras y paredes de relleno de buena calidad) en ambos extremos. Beneficios: para limitar los efectos de torsión.
- En sitios con mucha pendiente, el espacio entre postes debe rellenarse con muros de mampostería (principalmente en el marco exterior). Beneficios: asegurar la simetría estructural paralela a las curvas de nivel.
- Para mantener suficiente brecha sísmica con edificios contiguos (principalmente si las losas están desalineadas, generalmente en sitios empinados). Beneficio: para evitar el efecto de golpeteo.
- Evitar paredes de revestimiento en voladizo. Los balcones son aceptables ya que tanto la carga muerta como la viva son más pequeñas. Beneficia tanto los comportamientos para cargas gravitatorias como para la componente vertical de la acción sísmica.



### **Recomendaciones de fortalecimiento**

A continuación, se incluye una lista preliminar de importantes recomendaciones de fortalecimiento. Las pautas son baratas y fáciles de seguir (no se involucran materiales raros ni técnicas complicadas), para no aumentar significativamente el costo y la dificultad de la construcción.

Es notable que no se requieren trabajadores altamente calificados para mantener la naturaleza hecha a sí misma. Sin embargo, los beneficios esperados son importantes. En cualquier caso, llama la atención que estas medidas no garantizarán el pleno cumplimiento de todos los códigos existentes ya que sería prácticamente imposible.

### **Medidas sugeridas**

#### **Elementos resistentes**

- La edificación se apoya principalmente en los revestimientos y tabiques. Por lo tanto, no deben, en ningún caso, ser eliminados parcial o totalmente. Si se pretenden nuevas aperturas, deben hacerse con cuidado; incluye el uso de puntales temporales (verticalmente continuos hasta la cimentación) y dinteles (de concreto armado o acero). No es recomendable practicar aberturas en las paredes laterales. Si existen muros que no son continuos verticalmente, se deben levantar nuevos muros en los niveles inferiores para garantizar dicha continuidad.
- Los muros transversales (dirección x, tanto de revestimiento como de relleno) se refuerzan recubriéndolos con dos capas (exteriores) de concreto armado. El proceso de construcción consta de las siguientes operaciones consecutivas: (1) perforar una serie de orificios (de aproximadamente 1 cm de diámetro) en las juntas de la pared, (2) insertar algunas barras de acero cortas (deformadas) en



dichos orificios y doblar por sus extremos como para formar dos ganchos, (3) colocar dos mallas de acero soldadas a ambos lados de la pared y anclarlas a dichos ganchos, (4) arrojar dos capas de hormigón (de unos 3 cm de espesor) a ambos lados de la pared. Beneficio: aumentar la resistencia del muro en todas las direcciones. Para las paredes del primer piso, se requieren algunos cimientos para lograr un confinamiento suficiente que permita la formación de los mecanismos de falla (en lugar del colapso del suelo); estos cimientos pueden estar constituidos por zapatas laterales conectadas a la capa de revestimiento de hormigón. Debe prestarse especial atención a las zonas con concentraciones de tensión para los mecanismos de colapso. Los muros reforzados deben ser principalmente los exteriores (revestimiento) para mantener la simetría en planta y brindar menor sensibilidad a las excentricidades accidentales. Los detalles deben garantizar un contacto uniforme y un anclaje adecuado con los elementos de soporte circundantes (por ejemplo, losas, vigas, columnas) para permitir una transferencia de carga suave y sólida (incluso para cargas de gravedad).

- Los muros longitudinales (dirección y) se refuerzan con dos medidas alternativas: (1) colocando barras de refuerzo de acero horizontales (en forma de gancho) adicionales en las juntas del lecho (quitando temporalmente parte del mortero, insertando la barra y rejuntando, revestir ambos lados (si es posible, de lo contrario un lado sería suficiente) del muro con capas ancladas de concreto armado; muestra una solución de muestra para un caso particular. Beneficio: aumentar la resistencia a los modos de falla por compresión diagonal, cortante horizontal y fuera del plano. Dado que estos muros soportan parte del peso del edificio, esta operación debe realizarse con cuidado; Se



requieren puntales (continuos hasta los cimientos). La primera operación (barras adicionales en las juntas del lecho) no es recomendable para los muros transversales (dirección x) ya que el modo de falla por compresión diagonal no es posible y las compresiones verticales son mayores (esta operación es riesgosa ya que el muro está expuesto a fuera de amenaza de falla del avión). Para los muros del primer piso se necesitan cimentaciones y se construyen como en los muros transversales.

- Confinamiento de todos los muros. Estas vigas pueden tener la misma sección transversal ( $200 \times 200 \text{ mm}^2$ ) y refuerzo (tanto longitudinal como transversal) que los demás miembros. Debe tenerse en cuenta que estas vigas están destinadas únicamente a amarrar la parte superior del muro y soportar un techo ligero e indismontable; en consecuencia, en ningún caso se podrá sobreedificar ningún suelo.

### **Problemas de configuración**

- Si la edificación es asimétrica (es decir, los centros de gravedad y de rigidez no están alineados verticalmente), los movimientos sísmicos inducen efectos de torsión que pueden generar la falla prematura de algunas paredes (probablemente las más alejadas del centro de rotación), lo que podría conducir al colapso del edificio. Los edificios asimétricos se pueden volver a simetrizar agregando paredes de relleno (que son coplanares con el marco) o cerrando aberturas.
- En sitios con mucha pendiente, el espacio entre postes se debe rellenar con muros de mampostería bien hechos para reducir la alta asimetría generada por la contención que ejerce el suelo.



- Voladizos. Si es posible, las paredes en voladizo deben ser removidas y reconstruidas alineadas con el marco más cercano. De esta forma, el voladizo se sustituye por balcones.

### **Medidas Adicionales**

- Para evitar golpes entre edificios cercanos. Si las losas están alineadas, se deben colocar algunos elementos rígidos horizontales (de acero o madera) entre dos losas contiguas para evitar fuertes golpes; para evitar la caída de estos elementos durante sismos fuertes, deberán fijarse, al menos, a una de las edificaciones. Debido a la dificultad de colocación de estos elementos, uno de ellos podría instalarse por la parte delantera y otro por la parte trasera. Beneficios: para evitar golpes y unir las fuerzas sísmicas de ambos edificios. Si las losas no están alineadas (típicamente en sitios empinados), se deben colocar algunos elementos rígidos verticales (hechos de acero o madera) entre los dos edificios para evitar golpes dañinos; estos elementos verticales protegerán los muros y columnas del golpe de la losa adyacente no alineada.
- Evitar techar con materiales pesados (tejas, bloques de hormigón, elementos macizos de acero, entre otros); por el contrario, se recomienda el uso de revestimientos aislantes de zinc soportados por elementos ligeros de acero o madera. Beneficio: reducir la masa y, por tanto, las fuerzas sísmicas.

### **Medidas ignoradas**

- Esta subsección contiene algunas estrategias de actualización que se han descartado porque son costosas, engorrosas, difíciles de implementar o tienen inconvenientes o baja confiabilidad. En otros contextos (principalmente, en construcciones de estándares más altos) estas soluciones pueden ser recomendables.



- Fortalecimiento de la estructura a través de las estrategias habituales: forrar o encamisar los miembros con materiales compuestos, placas de acero u hormigón armado.
- Refuerzo de losa mediante la adición de una capa superior de hormigón armado. Esta medida tiene dos desventajas relevantes: se agregará masa y se sobrecargarán los componentes inferiores de la losa (vigas de acero).

### **Resistencia sísmica de las edificaciones reforzadas**

- La estrategia de protección a implementar (las medidas de fortalecimiento antes expuestas) debe proporcionar una reducción importante en los efectos de estos dos terremotos. Con este fin, a continuación, se analiza una evaluación empírica de las medidas de fortalecimiento propuestas y sus implicaciones en la reducción de la vulnerabilidad.
- El marco conceptual de fortalecimiento es proporcionar resistencia adicional a través de la mejora de la resistencia del muro a los esfuerzos cortantes, ya que esta medida es factible de realizar en el contexto de las condiciones existentes. La evaluación del refuerzo se realiza en los prototipos de edificación, sumando la resistencia adicional estimada a cortante que aportan estos muros.
- La estrategia de encamisado de muros brinda excelentes resultados en resistencia al corte, ya que la resistencia final puede ser muchas veces (hasta 3 veces) mayor que la resistencia del muro original. La resistencia a la compresión recomendada del hormigón es  $f_{ck} = 20$  MPa.



## V. CONCLUSIONES

- Las viviendas de Concreto Armado y albañilería confinada de la Urbanización Enace, tienen un alto nivel de riesgo sísmico, debido a una vulnerabilidad sísmica alta con un 56% y un peligro medio, en donde se identificaría que casi la mitad de las viviendas tendrían comportamiento deficiente frente a un escenario sísmico.
- En el centro poblado tiene una representatividad con edificaciones de concreto armado, albañilería; donde se puede observar que la mayoría de las viviendas tiene deficiencia en el proceso constructivo y en la calidad del material. Según varias investigaciones donde podemos decir que las construcciones informales tienen elementos estructurales que carecen de la resistencia necesaria para la carga a la que son sometidos, teniendo una gran probabilidad de riesgo de colapso ante un sismo severo. Respecto a la resistencia del concreto las viviendas de construcción informal son próximas a deformaciones visibles imposibilitando la carga de un piso más, causando vulnerabilidad sísmica estructural alta 50% en viviendas de concreto armado y 57% en viviendas de albañilería confinada.
- Las viviendas de la Urbanización Enace, Se estima un peligro sísmico medio de 43%, esto debido a las condiciones de entorno como la sismicidad y las aceleraciones máximas que se determinaron en el sitio de estudio, en nuestro caso el tipo de suelo.
- El resultado obtenido es afectado por la densidad de muros, adecuado proceso constructivo, por los materiales deficientes en calidad estos son factores más incidentes. Se estima un riesgo sísmico alto en las viviendas a ser afectadas por un sismo es alto. Es fundamental reducir mediante las propuestas de reforzamiento la alta vulnerabilidad de estas viviendas, así mismo podemos evitar futuras pérdidas de vidas y económicas.



## VI. RECOMENDACIONES

- El objetivo esencial de las evaluaciones de riesgo sísmico es brindar información sobre los posibles daños físicos sobre las edificaciones y las posibles pérdidas (económicas y sociales) generadas en el proceso de degradación. Esta información es útil para proponer estrategias de reducción de riesgos, que consisten principalmente en la mitigación de los posibles daños a las edificaciones ante un determinado sismo (es decir, la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones).
- La mitigación está orientada tanto a mejorar los estándares para la construcción de nuevos edificios como a fortalecer sísmicamente los existentes (incluidos los que están en construcción, excepto quizás los recién iniciados). Ambos enfoques suelen aplicarse simultáneamente; sin embargo, sus costos por edificio son considerablemente diferentes, ya que la primera estrategia trata con construcciones nuevas y su costo incremental es significativamente pequeño si se compara con el requerido para la remodelación de edificios existentes. Además, este último enfoque no solo enfrenta la dificultad de evaluar de manera confiable la vulnerabilidad de las edificaciones detectando las deficiencias más relevantes para la resistencia sísmica, sino la adecuación económica, social, cultural y tecnológica de las soluciones propuestas al nivel esperado de reducción de la vulnerabilidad.
- Se recomienda al poblador del Barrio que antes de construir una vivienda acudir a un Ingeniero Civil para que le proporcione el diseño de su vivienda en base a criterios estructurales que sean sismorresistentes.
- Sabemos que existe cartillas, folletos e información virtual sobre prácticas constructivas de la construcción civil que serían de gran ayuda a personas



dedicadas a la construcción como son los maestros de obra, para viviendas de uno y dos pisos, y para las edificaciones mayores se recomienda la asesoría de un profesional.

- Considerar a edificar las edificaciones de albañilería y concreto armado con los criterios que recomienda la Norma E.070 y la E060 respectivamente, todo muro portante eficiente y cumpla con su funcionalidad debe estar confinado por sus cuatro lados, y observando las viviendas de la ciudad de Puno la realidad es que no se cumple.
- Las soluciones propuestas se clasifican en recomendaciones de construcción y refuerzo; los primeros están destinados a nueva construcción mientras que los segundos son para edificios existentes. Se considera que toda medida aplicada, incluso por parte de los propietarios, debe ser técnicamente supervisada y ejecutada; es decir, en lugar de construcción sin ingeniería, debería denominarse autoconstrucción con ingeniería. Se presenta una evaluación económica de la relación beneficios inversión para las medidas de fortalecimiento. También se describen algunas estrategias para difundir los resultados de esta investigación entre las partes involucradas



## VII. REFERENCIAS

- Norma E030. (7 de Diciembre de 2018). Diseño sismoresistente. *Norma tecnica Peruana*. Lima, Peru.
- Abanto, T. (2017). *Anàlisis y diseño de edificaciones de albañilería*. Lima, Perú: Editorial san marcos. Obtenido de [http://sbiblio.uandina.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=29312&shelfbrowse\\_itemnumber=39297](http://sbiblio.uandina.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=29312&shelfbrowse_itemnumber=39297)
- Aguilar, Z., Tarazona, J., Vergaray, L., & Barrantes, J. (2019). Site response analysis and its comparison with the peruvian seismic design spectrum. *Tecnia*, 29(2), 91-97.
- Alfaro, A. (2007). Correlación entr elación entre el Valor N del Ensa alor N del Ensayo de Penetración Estándar y ación Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia. *Revista Épsilon*, 1(8), 13-23. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss8/3/>
- Aponte, J. (2011). *Evaluación de métodos no convencionales de caracterización geotécnica*. Tesis de Maestria, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1267>
- Arango, J. (2002). *Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería*. Lima: aciPeru. Obtenido de <http://miscelaneacivil.blogspot.com/2018/11/analisis-diseno-y-construccion-en.html>
- Arevalo, A. S. (2020). *Evaluacion de la vulnerabilidad sismica en viviendas atoconstruidas de acuerdo al Reglamento de Edificaciones en ek A.H. San Jose, Distrito de San MArtin de Porres*. Lima.
- ASTM. (D1586-08). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.



- Barrueta, J. B. (2019). *Analisis Sismico comparativo entre los sistemas de concreto armado y albañileria confinada para la construccion de un edificio de viviendas multifamiliares del distrito de Surquillo*. Lima.
- Bazán, E., & Meli, R. (1985). *Diseño Sísmico de Edificios*. Mexico: Noriega Editores.  
Obtenido de [https://www.academia.edu/36401028/Diseno\\_Sismico\\_de\\_Edificios\\_Bazan\\_y\\_Meli](https://www.academia.edu/36401028/Diseno_Sismico_de_Edificios_Bazan_y_Meli)
- Bermúdez, M., Enrique, L., & Martínez, S. (2002). Cálculo del período fundamental del suelo como herramienta para la microzonificación sísmica: casos colombianos. *INGEOMINAS*. Obtenido de [http://bdrsnc.sgc.gov.co/publicaRNAC/PUBLICACIONES/VENEZUELA\\_2002/Calculo\\_To\\_Herram\\_Microzo.pdf](http://bdrsnc.sgc.gov.co/publicaRNAC/PUBLICACIONES/VENEZUELA_2002/Calculo_To_Herram_Microzo.pdf)
- Borda, L., & Pastor, A. (2011). *Desempeño sísmico de un edificio aporticado peruano de seis pisos*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú . Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/974>
- Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguiar, R. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificios*. Centro Internacional de Metodos de Ingenieria. Barcelona, España: A.H.Barbat. Obtenido de [https://www.scipedia.com/wd/images/0/04/Draft\\_Barbat\\_819147751\\_4808\\_MIS06%2C\\_Caicedo%2C\\_Barbat%2C\\_Canas%2C\\_Aguiar%2C\\_1994.pdf](https://www.scipedia.com/wd/images/0/04/Draft_Barbat_819147751_4808_MIS06%2C_Caicedo%2C_Barbat%2C_Canas%2C_Aguiar%2C_1994.pdf)
- Calvi, G. M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J. J., Restrepo Vélez, L. F., & Crowley, H. (2006). DEVELOPMENT OF SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT METHODOLOGIES OVER THE PAST 30 YEARS . *ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 472, Vol. 43, No. 3,* pp 75-104.



- Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo Velez, L., & Crowley, H. (2006). DEVELOPMENT OF SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT METHODOLOGIES OVER THE PAST 30 YEARS. *ISET Journal of Earthquake Technology*, pp. 75-104.
- Cambell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigacion social*. Buenos Aires: Amorrortu editores.
- Castillo G., A. (2005). *SEISMIC RISK SCENARIOS FOR BUILDINGS IN MÉRIDA, VENEZUELA. DETAILED VULNERABILITY*. Barcelona.
- Castillo, W., & Zepeda, E. (2013). *Análisis comparativo de la respuesta sísmica de sitio no-lineal y lineal equivalente en el área urbana de la ciudad de Managua, Nicaragua*. Tesis de pregrado, Universidad Centroamericana, Nicaragua. Obtenido de <https://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUCA515/Details>
- Castrillo, E., & Ulloa, H. (2006). *Caracterización geotécnica para propósito de cimentación, en el sitio donde se proyecta la construcción del estadio nacional de football, en la UNAN Managua*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua. Obtenido de <http://www.oocities.org/mx/onest305/Chapter1.pdf>
- Castro, N. (2011). *Evaluación de la respuesta sísmica no-lineal de un depósito de suelo pre-consolidado de la ciudad de Cali*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia . Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7775>
- Cayro, W. (2010). *"Análisis y Evaluación de las estructuras de la Zona (RDBI) caso la Pampilla"*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano.
- CENAPRED. (1999). *Curso sobre Diseño y Construcción sismorresistente de estructuras*. Mexico: Secretaría de gobernación.



- Chate, E., & Espillico, A. (2009). *"Complejo Comercial Salcedo"*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano.
- Chevarria, D. (2014). *Analisis y diseño estructural sismoresistente por el metodo de elementos finitos: psbrllon fr sulsd I.E.S Charamaya - Mañazo*. Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4552>
- Chopra, A. (1995). *Review of Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (cuarta ed.). California.
- CISMID. (2013). *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE SISMO Y TSUNAMI EN ZONAS URBANAS*. CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES, Lima.
- Crisafulli, F., & Villafañe, E. (2002). Espectros de respuesta y de diseño. Universidad Nacional de Cuyo. Obtenido de [https://nanopdf.com/download/espectros-de-respuesta-y-de-diseo\\_pdf](https://nanopdf.com/download/espectros-de-respuesta-y-de-diseo_pdf)
- Flores, R. (2015). *Vulnerabilidad, peligro y riesgo sismico en viviendas autoconstruidas del Distrito de Samegua, Region Moquegua*. Tesis Pregrado, Universidad Jose Carlos Mariategui, Moquegua, Peru. Obtenido de <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/159>
- Grajales, E. (2003). *Comportamiento dinamico de los edificios provistos con dispositivos disipadores de energia*. Tesis de Maestria, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/6722/>
- GUILLEN, F. M. (2012). *"EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO"*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima.



- Hernandez, R., Fernandez, C., & Batista, M. (2003). *Metodología de la investigación*. Mc Craw Hill.
- Herrera, R. I., Vielma, J. C., & Pujades, L. G. (2014). METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS: UN ESTADO DEL CONOCIMIENTO. *Monografía CIMNE IS-68*, Cap 1.
- IGP . (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en Perú*. Monografía, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú. Obtenido de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/IGP/Mapa\\_Peligro\\_Sismico\\_Peru\\_2015\\_Version\\_Preliminar.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/IGP/Mapa_Peligro_Sismico_Peru_2015_Version_Preliminar.pdf)
- INDECI. (Marzo de 2015). Escenario sísmico en base a las intensidades máximas esperadas en un probable sismo Frente a la zona costera de Lima. *INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) CEPIG*. Lima, San Isidro , Peru.
- INEI. (2018). "*Censos Nacionales 2017:XII de Poblacion, VII de vivienda y III de Comunidades Indigenas - Puno*". INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMATICA, Lima. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitaless/Est/Lib1563/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1563/)
- INGEMMET. (2020). *Peligro Geológico en la Región Puno*. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Lima, Perú.
- Ingeniería y Sociedad - UC. (2017). Riesgo sísmico. *Ingeniería y Sociedad - UC*, 89 pg.
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante Métodos y Técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Barcelona. Obtenido de [tdx.cat/bitstream/handle/10803/6259/09Nlz09de12.pdf?sequence=9](http://tdx.cat/bitstream/handle/10803/6259/09Nlz09de12.pdf?sequence=9)



- Laucata, J. E. (2013). *Analisis de la vulnerabilidad Sismica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo*. Tesis pregrado, Pontificia Universidad Catolica del Peru, Trujillo, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4967>
- Lazcano, S. (2007). *Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie*. Mexico: aiMexico. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/343588487\\_Caracterizacion\\_de\\_suelos\\_arenosos\\_mediante\\_analisis\\_de\\_ondas\\_de\\_superficie](https://www.researchgate.net/publication/343588487_Caracterizacion_de_suelos_arenosos_mediante_analisis_de_ondas_de_superficie)
- Llanos, L., & Vidal, L. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali*. Trabajo de grado de Ingenieria civil, Universidad del Valle, Colombia.
- López Menardi, R. (2003). *Determinacion in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relacion con el ensayo normal de penetracion*. Buenos Aires.
- Ludeña. (2007). *Correlaciones de sondajes SPT*.
- Marca, A. (2010). *"ordenamineto Urbano del centro Poblado Menor de Salcedo"*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano.
- Mays, L., Maidment, D., & Chow, V. (2005). *"Hidrologia Aplicada"*. McGraw-Hill.
- Mosqueira, M., & Tarque, N. (2005). *Recomendaciones tecnicas para mejorar la seguridad sismica de viviendas de albañileria confinada de la costa Peruana*. Tesis de Maestria de Ingenieria Civil, Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/850>
- NEHRP. (2003). *NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS FOR SEISMIC REGULATIONS FOR NEW BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES (FEMA 450)*. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- Olivares Hernandez , L. A., & Quintana Mendoza , O. V. (2014). *Análisis lineal equivalente de la respuesta sísmica de sitio en los recintos: Rubén Darío-*



*Managua, FAREM-Chontales y FAREM-Carazo, de la UNAN-Managua.* Trabajo de Investigación Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Managua. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/5509/1/15806.pdf>

Olivares, L., & Quintana, O. (2014). *"Análisis lineal equivalente de la respuesta sísmica de sitio en los recintos: Rubén Darío-Managua, FAREM-Chontales y FAREM-Carazo, de la UNANManagua"*. Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero Civil., UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Managua.

Parrales, R., & Picado, M. (2001). *Analisis de espectros de respuesta en el area de la ciudad de Managua.* Tesis de ingeniería Civil, Universidad Nacional de ingeniería (UNI), Managua.

Quiroz, L., & Vidal, L. (2015). *Evaluacion del grado de vulnerabilidad sismicaestructural en edificaciones conformadas por sistemas aporticados y de albañileria en el sector de la Esperanz.* Universidad Privada Atenor Orrego, Trujillo.

Rodas, J. (2011). *Susceptibilidad a la licuefaccion por medio del sondeo de penetracion estándar:Las lisas, Chiquimulilla, Santa rosa, Guatemala.* Maestría en Ingeniería Geotécnica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick%20Jos%C3%A9%20Rodas%20Aldana.pdf>

Rojas, J. (2015). *Curvas de fragilidad sísmica para Edificios aporticados de concreto reforzado de poca altura.* Tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Obtenido de <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/11746>



- San Bartolomé, Á. (1998). *Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y diseño estructural* (primera ed.). Perú: Fondo editorial PUCP.
- Spence, R., Cobum, A., & Pomonis, A. (1992). Correlation of ground motion with bulding damage: The definition of a new damage-based seismic intensity scale. *Earthquake Engineering, Tenth Wold Conference*, 551-556.
- Tafur, E., & Narro, V. (2006). *Estudio de la vulnerabilidad de viviendas en la ciudad de Cajamarca*. Tesis de Maestria, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.
- Tsige, M., & Garcia, I. (2006). *Propuesta de clasificacion geotecnica del "Efecto Sitio" (Amplificacion sismica) de las formaciones geologicas de la Region de Murcia*. Geogaceta.
- Vizconde, A. (2004). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente : Clínica San Miguel, Piura*. Tesis de Pregrado, Universidad de Piura : Facultad de Ingeniería., Piura-Perú. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1367>
- Whitman, R., Reed, J., & Hong, S. (1973). "Earthquake damage probability matrices". *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering*, 2531-2540.
- Zuñiga, R. (2011). *Notas introductorias Sismologica*. Posgrado en ciencias de la Tierra, Centro de Geocoencias UNAM.



## ANEXOS