

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ESTADOS DE DAÑO EN MONUMENTOS HISTÓRICOS DE SILLAR EN EL BARRIO DE SAN LÁZARO – AREQUIPA

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

MANUEL JESÚS JUÁREZ VALENCIA
JOSÉ GERMÁN LOAYZA RODRÍGUEZ

Arequipa - Perú

2015



**“LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL ES
EL ARTE DE USAR MATERIALES
cuyas propiedades sólo pueden ser estimadas
PARA CONSTRUIR ESTRUCTURAS REALES
que sólo pueden ser analizadas aproximadamente
PARA SOSTENER FUERZAS
que no son conocidas con exactitud
DE MODO QUE NUESTRA RESPONSABILIDAD CON
RESPECTO A LA SEGURIDAD PÚBLICA SEA SATISFECHA”**

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

De forma conjunta, agradecemos a nuestro asesor, Ing. Jorge Rosas Espinoza y a la Ing. Milagros Guillén Málaga, por la orientación, la crítica y los comentarios brindados, sin ellos no hubiese sido posible encaminar el proyecto de la formada.

Agradecemos también al Ing. Fernando Trujillano Sarmiento, por introducirnos en el estudio sísmico de monumentos históricos.

Agradecemos a los pobladores del Barrio de San Lázaro, por abrirnos las puertas de sus casas, permitiendo acceder a la información que nos ha llevado a realizar esta investigación.

Juárez Valencia, Manuel Jesús:

Agradezco a Dios por ser guía en mi vida y permitirme ver cada experiencia a través de la fe, en un camino en el que muchas veces solo ello me sostuvo y le dio sentido.

A mis padres, por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional, apoyarme en mis decisiones, estar conmigo en mis aciertos y sostenerme en los momentos difíciles.

A mis Hermanos por los consejos que me brindaron y como me animaron en cada momento.

A Germán por hacer de esto algo muy grato, ofrecer sus capacidades, soportar y sortear cada reto y dificultad de este camino, pues siempre fue un impulso en los momentos difíciles y permitió que perseverarnos siempre con la mirada puesta en nuestro objetivo.

Loayza Rodríguez, José Germán:

Agradezco en primer lugar a Dios por haber puesto en mi camino todas las herramientas para poder ser feliz y pleno.

Agradezco a mis padres por la oportunidad que me brindaron de desarrollarme como persona y como profesional, por su esfuerzo y dedicación desmedida; todo logro mío es de ellos también.

A mis hermanos por ser mi soporte y aliento.

De forma muy especial, agradezco a Manuel por haber confiado en mi capacidad y por hacer un equipo para sacar adelante este proyecto.



INDICE

AGRADECIMIENTOS	2
INDICE	4
FIGURAS	9
TABLAS	10
GRÁFICOS.....	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I	17
GENERALIDADES.....	17
1.1. Contenido de este trabajo	18
1.2. Antecedentes	19
1.3. Planteamiento del problema.....	21
1.4. Objetivos	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.4.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II	24
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A EVALUAR.....	24
2.1 Delimitación.....	25
2.2 Aspectos físicos del sector.....	26
2.2.1 Geología y zonificación geotécnica de Arequipa	26
2.2.2 Zona de vida.....	29
2.2.3 Clima	29
2.2.4 Precipitación	30

2.2.5	Población.....	30
2.3	Ambiente económico y social.....	30
2.4	Tipología estructural.....	31
2.5	Servicios públicos.....	32
2.5.1	Red de energía eléctrica.....	32
2.5.2	Red de drenajes	32
2.5.3	Red de agua potable	32
2.6	Vías de acceso.....	32
CAPÍTULO III		35
MARCO TEÓRICO.....		35
3.1	Generalidades de sismología y sismotectónica	36
3.2	Sismicidad en el Perú.....	45
3.2.1	Principales Rasgos Tectónicos.....	46
3.2.2	Sismicidad Histórica	47
3.2.3	Sismicidad Instrumental.....	52
3.3	Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad Sísmica.....	53
3.4	Historia sísmica en Arequipa.....	56
3.5	Factores que propician la vulnerabilidad sísmica de las estructuras.....	57
3.6	Historia de los monumentos históricos.....	60
3.6.1	Sistema estructural de edificaciones en sillar	60
3.6.2	Materiales más usados en monumentos históricos	64
3.7	Diagrama de flujo del estudio.....	68
CAPÍTULO IV MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD		69
4.1	Método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini (1982).....	70

4.1.1	Descripción del método	70
4.1.2	Formulario de evaluación	72
4.1.3	Criterios de evaluación	72
4.2	Resultados obtenidos.....	84
CAPÍTULO V METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO		100
5.1	Funciones de vulnerabilidad.....	101
5.2	Simulación de los parámetros del índice de daño	102
5.3	Resultados obtenidos.....	106
CAPÍTULO VI MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO		110
6.1	Determinación de aceleraciones pico efectivas	111
6.2	Determinación de las matrices de probabilidad de daño para cada nivel de acción sísmica.	111
6.3	Aplicación de las funciones	112
CAPÍTULO VII GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE DAÑO		120
7.1	Introducción.....	121
7.2	Zona de estudio	121
7.3	Procedimiento utilizado	121
7.4	Resultados obtenidos.....	123
CONCLUSIONES.....		124
RECOMENDACIONES		126
BIBLIOGRAFÍA		128
ANEXOS		131
ANEXO A.....		131

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PROPUESTO POR BENEDETTI Y PETRINI	131
ANEXO B.....	134
PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	134
ANEXO C.....	135
PLANO GENERAL DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL DE LA ZONA.....	135
ANEXO D.....	136
PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL BAJO ..	136
ANEXO E.....	137
PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL MEDIO	137
ANEXO F.....	138
PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL ALTO ..	138
ANEXO G	139
PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE VI MM.....	139
ANEXO H.....	140
PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE VII MM.....	140
ANEXO I	141
PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE VIII MM.....	141
ANEXO J	142
PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE IX MM.....	142
ANEXO K.....	143
FORMULARIOS DE EVALUACIÓN DE CADA UNA DE LAS EDIFICACIONES DEL ESTUDIO.....	143
ANEXO L	144

CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO 3: EDIFICACIONES REPRESENTATIVAS	144
--	-----



FIGURAS

<i>Figura 1: Sector evaluado – Barrio de San Lázaro – Arequipa</i>	25
<i>Figura 2: Mapa geológico – Barrio de San Lázaro – Arequipa</i>	27
<i>Figura 3: Mapa de microzonificación sísmica – Barrio de San Lázaro – Arequipa</i>	28
<i>Figura 4: Vías de acceso – Barrio de San Lázaro – Arequipa</i>	33
<i>Figura 5: Distancias de las capas que forman la estructura del globo terrestre.</i>	36
<i>Figura 6: Partes de un sismo</i>	41
<i>Figura 7: Comparación Gráfica de las diferentes escalas de Intensidad Utilizadas en el mundo.</i>	42
<i>Figura 8: Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.</i>	44
<i>Figura 9: Esquema del procesos de convergencia de la placa de Nazca (Oceánica) y la Sudamericana (Continental). F1 y F2 indican la dirección de desplazamiento de las placas según DeMetz et al (1990). Las líneas discontinuas indican la ubicación y orientación de la fractura de Mendaña y la Dorsal de Nazca.</i>	46
<i>Figura 10: Sismicidad Histórica de Perú entre 1500-1959, $M_s > 6.0$</i>	50
<i>Figura 11: Sismicidad Histórica de Perú entre 1960-2011</i>	51
<i>Figura 12: Mecanismos focales para sismos de gran magnitud ocurridos en las regiones centro y sur de Perú entre los años 1940 y 2007</i>	52
<i>Figura 13: Mapa de Peligros Sísmicos</i>	55
<i>Figura 14: Vista del preciso momento del derrumbe de la Basílica Catedral de Arequipa en el terremoto del 23 de Junio del 2001</i>	57
<i>Figura 15: Sección típica de estructuras de albañilería en sillar</i>	61
<i>Figura 16: Detalles de arcos con contrafuertes y losas planas con vigas de riel</i>	62
<i>Figura 17: Cantera de sillar de Añashuayco. La piedra de sillar es uno de los símbolos arequipeños.</i>	64
<i>Figura 18: Parámetros del modelo de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería</i>	73
<i>Figura 19: Configuración en planta de la estructura</i>	79
<i>Figura 20: Configuración el elevación de la estructura</i>	80
<i>Figura 21: Longitud L: Distancia máxima entre muros</i>	82
<i>Figura 22: Funciones de vulnerabilidad simuladas para edificios de mampostería no reforzada (Barbat et al.1996), Yépez (1996). Las líneas discontinuas fueron propuestas por Angeletti et al. (1988)</i>	102
<i>Figura 23: Muro representativo del modelo matemático de Abrams para mampostería no reforzada</i>	103

TABLAS

<i>Tabla 1: Escala numérica del índice de vulnerabilidad Iv de los edificios de mampostería no reforzada (Benedetti and Petrini, 1984).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 2: Clasificación de la Vulnerabilidad de acuerdo al índice de vulnerabilidad</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 3: Calificación del parámetro de resistencia convencional para los tipos de edificaciones modelo.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 4: Tipo de edificaciones en el área de estudio</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5: Número de pisos de las edificaciones del área de estudio.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 6: Número de ocupantes de las edificaciones del área de estudio</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 7: Distribución porcentual del Índice de Vulnerabilidad en el Barrio de San Lázaro.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 8: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Los Violines</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 9: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Los Violines.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 10: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Violines.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 11: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Violines</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 12: Tipo de edificación de la Calle Los Violines</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 13: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Los Cristales</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 14: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Los Cristales</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 15: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Cristales.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 16: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Cristales</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 17: Tipo de edificación de la Calle Los Cristales</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 18: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Bayoneta</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 19: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Bayoneta</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 20: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Bayoneta</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 21: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Bayoneta.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 22: Tipo de edificaciones del Pasaje Bayoneta</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 23: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Tejada.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 24: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Tejada.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 25: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Tejada.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 26: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Tejada</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 27: Tipo de edificaciones del Pasaje Tejada.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 28: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Desaguadero</i>	<i>96</i>

<i>Tabla 29: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Desaguadero</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 30: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Desaguadero</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 31: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Desaguadero.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 32: Tipo de edificaciones de la Calle Desaguadero</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 33: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Combate Naval</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 34: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Combate Naval</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 35: Número de ocupantes de las edificaciones el Pasaje Combate Naval</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 36: Número de pisos de las edificaciones el Pasaje Combate Naval</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 37: Tipo de edificaciones el Pasaje Combate Naval.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 38: Coeficientes para edificios de mampostería no reforzada (Yépez 1996, Mena 2002)</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 39: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Violines</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 40: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Cristales</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 41: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Bayoneta.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 42: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Tejada</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 43: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Desaguadero</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 44: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Combate Naval</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 45: Rangos de aceleraciones de acuerdo a las escalas de intensidad (Wald et al., 1999).....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 46: Forma general de las MPD propuesta por ATC-13(1985) – (Modificada por los autores de la tesis)</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 47: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Los Violines</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 48: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Los Cristales</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 49: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Bayoneta.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 50: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Tejada</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 51: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Desaguadero.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 52: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Combate Nava</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 53: Matriz global de probabilidad de daño del Barrio San Lázaro.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 54: Parámetros que constituyen la vulnerabilidad de la muestra</i>	<i>122</i>

GRÁFICOS

<i>Gráfica 1: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Barrio de San Lázaro.....</i>	<i>87</i>
<i>Gráfica 2: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Los Violines</i>	<i>88</i>
<i>Gráfica 3: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Violines</i>	<i>89</i>
<i>Gráfica 4: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Violines.....</i>	<i>89</i>
<i>Gráfica 5: Tipo de edificación de la Calle Los Violines</i>	<i>89</i>
<i>Gráfica 6: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Los Cristales</i>	<i>90</i>
<i>Gráfica 7: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Cristales</i>	<i>91</i>
<i>Gráfica 8: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Cristales</i>	<i>91</i>
<i>Gráfica 9: Tipo de edificación de la Calle Los Cristales</i>	<i>91</i>
<i>Gráfica 10: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Bayoneta</i>	<i>92</i>
<i>Gráfica 11: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Bayoneta.....</i>	<i>93</i>
<i>Gráfica 12: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Bayoneta</i>	<i>93</i>
<i>Gráfica 13: Tipo de edificación del Pasaje Bayoneta.....</i>	<i>93</i>
<i>Gráfica 14: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Tejada</i>	<i>94</i>
<i>Gráfica 15: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Tejada</i>	<i>95</i>
<i>Gráfica 16: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Tejada</i>	<i>95</i>
<i>Gráfica 17: Tipo de edificación del Pasaje Tejada</i>	<i>95</i>
<i>Gráfica 18: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Desaguadero</i>	<i>96</i>
<i>Gráfica 19: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Desaguadero</i>	<i>97</i>
<i>Gráfica 20: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Desaguadero.....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfica 21: Tipo de edificación de la Calle Desaguadero.....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfica 22: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Combate Naval</i>	<i>98</i>
<i>Gráfica 23: Número de ocupantes de las edificaciones el Pasaje Combate Naval</i>	<i>99</i>
<i>Gráfica 24: Número de pisos de las edificaciones el Pasaje Combate Naval.....</i>	<i>99</i>
<i>Gráfica 25: Tipo de edificación el Pasaje Combate Naval</i>	<i>99</i>

RESUMEN

La conservación del patrimonio cultural está considerada como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. En los últimos años, se han realizado procesos de inspección, ensayos no destructivos, monitoreo y análisis estructural de monumentos. No obstante la comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas continúa siendo uno de los desafíos más importantes de las técnicas modernas.

Los primeros edificios de Arequipa han sido construidos en adobe y piedra, con techos de paja, de caña o de madera. Más tarde el ladrillo y la caña fueron utilizados, como atestiguando este hecho algunos ejemplos subsisten en Santa Catalina. La catástrofe natural de 1582 provoca una evolución hacia las construcciones resistentes a sismos, con la utilización sistemática del sillar, un material ligero, térmico y resistente, que no resolvió los problemas derivados de los terremotos.

El estudio de vulnerabilidad sísmica de monumentos históricos de la ciudad de Arequipa, presenta información general respecto de las características sísmicas de la ciudad, describiendo los factores que hacen vulnerables las construcciones históricas de sillar, ante la presencia de un movimiento sísmico.

Se describirá el método utilizado para determinar el rango de vulnerabilidad de las estructuras, así como el procedimiento y criterio empleado para la evaluación del mismo. Luego, se dan a conocer los aspectos físicos del sector evaluado.

La vulnerabilidad se ha calculado mediante el método de índice de vulnerabilidad (Benedetti et al, 1982), este método, adecuado para el estudio de áreas urbanas, consiste en determinar la calidad sísmica de los edificios mediante un índice de vulnerabilidad que se obtiene a partir de la clasificación de las tipologías estructurales, este índice asignado inicialmente se modifica atendiendo a las características específicas del edificio que contribuyen positiva o negativamente a

su respuesta sísmica, determinando posteriormente el grado de daño esperado en función del índice de vulnerabilidad obtenido y la intensidad del sismo considerada.

Se indicará en tablas y gráficas los resultados del estudio y, en la base de datos, se puede observar la información de cada una de las estructuras evaluadas.

Además, se muestra en un plano, cada lote con el color respectivo que indica su grado de vulnerabilidad.

Posteriormente, se realizará el modelado sísmico de una estructura de cada nivel de daño identificado en la clasificación; identificando los problemas típicos encontrados en cada tipo de estructura existente, puntos de fallas y proponiendo alternativas de reforzamiento estructural que permita disminuir el tipo de daño sin alterar significativamente la estructura por su condición de monumental.



ABSTRACT

The preservation of cultural heritage is considered a fundamental principle in the cultural life of modern societies. In recent years, there have been processes of inspection, non-destructive testing, monitoring and structural analysis of monuments. However understanding, analysis and repair of historic buildings remains one of the most important challenges of modern techniques.

The first buildings in Arequipa are built of adobe and stone, thatch, cane or wood. Later, brick and reed were used, as witnessing this fact some examples exist in Santa Catalina. The natural disaster of 1582 caused an evolution toward earthquake-resistant construction, with the systematic use of sillar, lightweight and a heat resistant material; which did not solve the problems caused by earthquakes.

The study of seismic vulnerability of historical monuments of Arequipa city, presents general information on the seismic characteristics of the city, describing the factors that make them vulnerable historic buildings of sillar, in the presence of an earthquake.

Will be described the method used to determine the range of vulnerability of structures, as well as the procedure and criteria used for evaluating. Then disclosed the physical aspects of the evaluated sector.

The vulnerability has been calculated by the method of vulnerability index (Benedetti et al, 1982), this method suitable for the study of urban areas, consist in to determine the seismic quality of buildings through a vulnerability index that is obtained from classification of structural types, initially assigned, this index is modified according to the specific characteristics of the building that contribute positively or negatively to their seismic response, then determining the degree of damage expected on the basis of the vulnerability index obtained and the intensity of the earthquake considered.

Study results are indicated in tables and graphs and in the database, you can see the information of each of the structures evaluated.

Finally shown in a plane, each batch with the respective color indicating their vulnerability.

Subsequently, seismic modeling of a structure at each level of damage identified in the classification will be done; will identify typical problems found in each type of existing structure, points of failure and proposing alternatives to reduce structural damage, without significantly altering this monumental status.





CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Contenido de este trabajo

En el **Capítulo I** se desarrollan las generalidades de la tesis, presenta la introducción de este estudio de investigación, junto a los antecedentes y objetivos.

En el **Capítulo II** trata sobre el área de estudio, la delimitación de la zona y aspectos generales de como aspectos físicos del sector, ambiente económico y social, tipología estructural de las construcciones a analizar, servicios públicos y vías de acceso.

En el **Capítulo III** se hace referencia a los aspectos generales del riesgo sísmico, en el que involucran conceptos y definiciones básicas de los sismos y del Riesgo Sísmico en general. Se describen los factores que propician la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, la historia de los monumentos históricos y la geología y zonificación tectónica en Arequipa.

En el **Capítulo IV** se estudia el concepto de Vulnerabilidad sísmica y todos sus componentes de una forma detallada, en las que se describe el método de Bennedetti y Petrini el cual nos permitirá calcular los índices de vulnerabilidad de cada estructura, muestra el formulario de evaluación, criterios considerados y diagrama de flujo de actividades.

En el **Capítulo V** En este capítulo se describirá el método utilizado para determinar las funciones de vulnerabilidad utilizadas en este estudio, que definen el índice de daño esperado en función del índice de vulnerabilidad con el método desarrollado por (Yépez 1996, Mena 2002).

En el **Capítulo VI** En este capítulo se desarrollan las matrices de probabilidad de daño, que expresan en forma discreta, la probabilidad condicional de obtener un determinado nivel de daño, propuestas por el ATC (ATC-13, 1985). El daño se discrimina en 7 estados discretos asociados a un factor central de daño que se corresponde con diferentes estados de daño predefinidos.

En el **Capítulo VII** En este capítulo se concluye el estudio con los escenarios de daño, por medio de la elaboración de planos que indican los niveles de vulnerabilidad y los estados de daño para diferentes magnitudes, junto a gráficos que permiten establecer el uso de la edificación, cantidad de habitantes y número de pisos.

1.2. Antecedentes

El estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de monumentos históricos, se ha hecho ya usual en varias partes del mundo, por lo cual se han hecho un gran número de investigaciones acerca del tema, facilitando el acceso a antecedentes de estudio y avances logrados. A continuación se presenta una reseña acerca de la evolución de la ingeniería en este campo.

Estos estudios iniciaron a principios del siglo XX, como una necesidad ante las consecuencias de sismos que habían ocurrido en distintos lugares del mundo (por ejemplo San Francisco, CA. USA, 1906; Menisa, Italia en 1908 y Tokio, Japón en 1923). A través de la experiencia, los ingenieros fueron encargados de evaluar los efectos de los sismos en las viviendas y en las edificaciones y de proponer medidas que minimizarán dichos efectos en el futuro.

Es así como se fueron proponiendo los primeros conceptos de diseño sismo resistente y se iniciaron investigaciones en el área de la ingeniería sísmica en Japón y en estados Unidos (AIJ, 1998; Sarria M, 1995).

Durante la décadas de los años 1960 y 1970, surgen las primeras técnicas de evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones existentes denominadas Técnicas de Screening, las cuales se constituyeron en la base para métodos desarrollados posteriormente, entre los cuales se encuentran: Whitman (1972), Okada y Bresler (1976), ATC-14 (1987), Grases (1985), Iglesias (1985), ATC-21(1988), entre otros (Campos, 1992). Para la década de 1980 El Organismo de las Naciones Unidas encargado de la atención de desastres, UNDRO y la UNESCO definieron los términos de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, de tal

manera que permitieran comprender y reconocer con más claridad los problemas asociados a fenómenos naturales o antrópicos (UNDRO, 1979).

Existen varios estudios de Vulnerabilidad Sísmica a gran escala desarrollados por grupos de investigación en el mundo, algunos como en Colombia; en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga, Cali, Sincelejo¹ y Manizales, se han realizado investigaciones sobre Vulnerabilidad Sísmica y Riesgo Sísmico; y en la Costa atlántica, solo se han hecho estudios de estos tipos en la ciudad de Barranquilla.

En la Universidad Politécnica de Valencia² en el año 2009 realizó el estudio de la vulnerabilidad sísmica de un distrito de gran valor histórico y arquitectónico, este análisis ha permitido la elaboración de mapas de escenarios de daño, además tienen como propósito utilizarse para mejorar el comportamiento estructural de aquellos edificios más vulnerables.

También en Guatemala³, donde se realizó un análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural, por medio de un análisis visual rápido que permitió cuantificar la vulnerabilidad sísmica estructural del barrio San Antonio en la zona 6 de la ciudad de Guatemala y la cantidad de daños potenciales que podría sufrir dicho sector ante la presencia de un fenómeno sísmico con aceleraciones del suelo de $0.3g = 2.94 \text{ m/seg}^2$, o mayores, con una probabilidad de ocurrencia de, al menos, una vez en cincuenta años, equivalente a 0.02.

En el Perú la investigación más relacionada con la que realizaremos en Arequipa, es la de Chiclayo⁴ considerando las investigaciones de J. Alva (UNI), para los sismos frecuente, ocasional y raro, siendo los valores de aceleración de 0,20g, 0,25g y 0,42g respectivamente. Para el peligro sísmico local se recopiló información

¹ Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la Tecnología del sistema de información geográfica.- Alvaro R.Caballero Guerrero – Sincelejo, Julio 2007

² Evaluación de la vulnerabilidad Sísmica del distrito 2- L'Eixample de la ciudad de Valencia. – L. Basset y A. Guardiola – Valencia, 2009

³ Análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural del Barrio San Antonio en la zona 6 de la Ciudad de Guatemala.- Edwin F. Pérez Pérez – Guatemala, Octubre 2005

⁴ Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de Chiclayo.- J. Julca E. Orbegoso – Chiclayo, Mayo 2008

de la zonificación geotécnica de Chiclayo (CISMID) y el mapa geológico de la zona (INGEMMET), complementando toda esta información con la realización del ensayo geofísico de microtrepidaciones en 50 puntos del cercado de la ciudad de Chiclayo.

En la ciudad de Arequipa, no se han hecho estudios de Vulnerabilidad Sísmica de Monumentos Históricos. Pero en todo el mundo, se han aplicado mucho los diferentes métodos de acuerdo a las condiciones que se tenga, haciéndolos cada vez más efectivos y confiables, lo que ha permitido mejorar las metodologías propuestas para la evaluación de la calidad estructural, especialmente en zonas urbanas, en las que no se tiene información básica inicial como el de las estructuras.

1.3. Planteamiento del problema

En una ciudad donde la probabilidad de ocurrencia de un sismo es muy grande y en donde el uso de edificaciones históricas es común para viviendas y comercio en un porcentaje nada despreciable. Es fundamental contar con estudios que permitan conocer el grado de daño que pueden alcanzar las edificaciones históricas ante la acción de un sismo. De esta manera se puede planificar su conservación, mitigar el riesgo y preparar a la comunidad para responder ante una amenaza sísmica.

Dentro de la estimación del daño se deben establecer las diferencias entre las distintas tipologías estructurales que existen en las edificaciones de una ciudad. En la actualidad el sistema de mampostería de sillar es uno de los sistemas estructurales más usados en el Centro Histórico de Arequipa y barrios tradicionales; sin embargo, es uno de los menos considerados en este tipo de estudios. De aquí la importancia de investigar, y proponer modelos que estimen los niveles de daño que pueden alcanzar las edificaciones correspondientes a este sistema estructural, cuando ocurre un terremoto.

Las principales metodologías usadas para la evaluación de las construcciones, básicamente difieren en los datos, dado que pueden ser experimentales, analíticas o estar basadas en observaciones de campo o en la opinión de expertos.

Se presentan metodologías que valoran el nivel de daño que pueden alcanzar las edificaciones correspondientes al sistema estructural de muros de sillar arequipeño. Los modelos estiman un índice de vulnerabilidad calculado en función de las características de la estructura que más influyen en su comportamiento sísmico, determinando diferentes grados de vulnerabilidad, lo cual nos permite establecer estados de daño de acuerdo a una aceleración dada.

Por ese motivo se realizará el análisis y evaluación de la vulnerabilidad sísmica y estados de daño en el Barrio tradicional de San Lázaro, plasmando los resultados en escenarios y matrices de daño; este estudio es un preámbulo para uno general que debe desarrollarse en el Centro Histórico y en los Pueblos Tradicionales de Arequipa.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la vulnerabilidad sísmica estructural y estados de daño de edificaciones monumentales de sillar, considerando sus características físicas de acuerdo a aceleraciones sísmicas determinadas.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el índice de vulnerabilidad sísmica estructural, estableciendo las construcciones de bajo, mediano y alto peligro de colapso estructural.
- ✓ Estipular el índice de daño en función de las aceleraciones probables de acuerdo a la zona y con ellos construir funciones de vulnerabilidad

y matrices de probabilidad de daño sísmico para cada uno de estos valores de aceleración.

- ✓ Establecer el escenario de daño para las aceleraciones consideradas en el estudio.





CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A EVALUAR

2.1 Delimitación

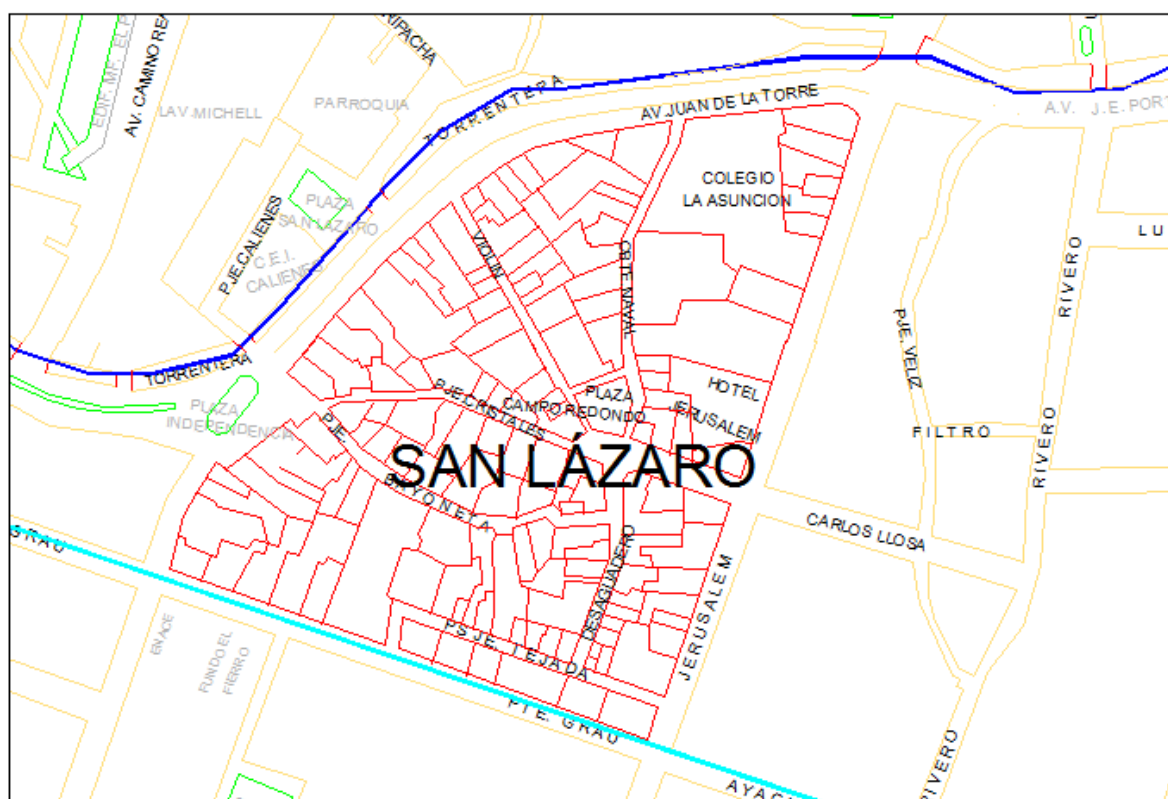


Figura 1: Sector evaluado – Barrio de San Lázaro – Arequipa

Fuente: Plano básico Arequipa. Gobierno Regional de Arequipa. Arequipa – Perú.

Como se muestra en la figura anterior, el sector en estudio está ubicado en el barrio de San Lázaro, barrio más antiguo de la ciudad de Arequipa, posiblemente anterior a la fundación de Arequipa.

Se ubica a 1 km de la Plaza de Armas de la ciudad, en la zona este del centro histórico de Arequipa, delimita asimismo por el Norte con el Parque Selva Alegre y el río Chili, por el Sur con la calle Puente Grau y por el este la Calle Rivero. Este barrio se utiliza como comercio y en su mayor parte vivienda.

Con un área de estudio de aproximadamente 57 000 m², que comprende 7 grandes manzanas de forma irregular, que en total son 140 predios.

La mayoría de las edificaciones evaluadas son de mampostería no reforzada lo que hace que este sector sea potencialmente un área vulnerable por fenómenos sísmicos.

2.2 Aspectos físicos del sector

2.2.1 Geología y zonificación geotécnica de Arequipa

Debido al origen volcánico de los suelos, en la ciudad de Arequipa se presenta una geología muy errática, encontrándose unidades de rocas ígneas intrusivas y extrusivas, tufos volcánicos, material piroclástico y materiales aluviales, los cuales poseen diversas características geotécnicas. Estas diferencias se reflejan en los valores de los períodos predominantes de vibración natural del suelo, obtenidos en los ensayos de medición de microtrepidaciones en esta ciudad, que varían de 0.10 a 0.45 seg.⁵

El área de estudio se encuentra en la unidad geomorfológica Plenillanura de Arequipa que es una superficie ligeramente plana, inclinada hacia el oeste con una pendiente de aproximadamente 4%. Está conformada por materiales tufáceos hacia el oeste y materiales detríticos hacia el este.

En la ciudad de Arequipa se encuentra unidades ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades se ubican en forma discontinua desde el prepaleozoico hasta el cuaternario reciente. En nuestra zona de estudio tenemos de dos tipos:

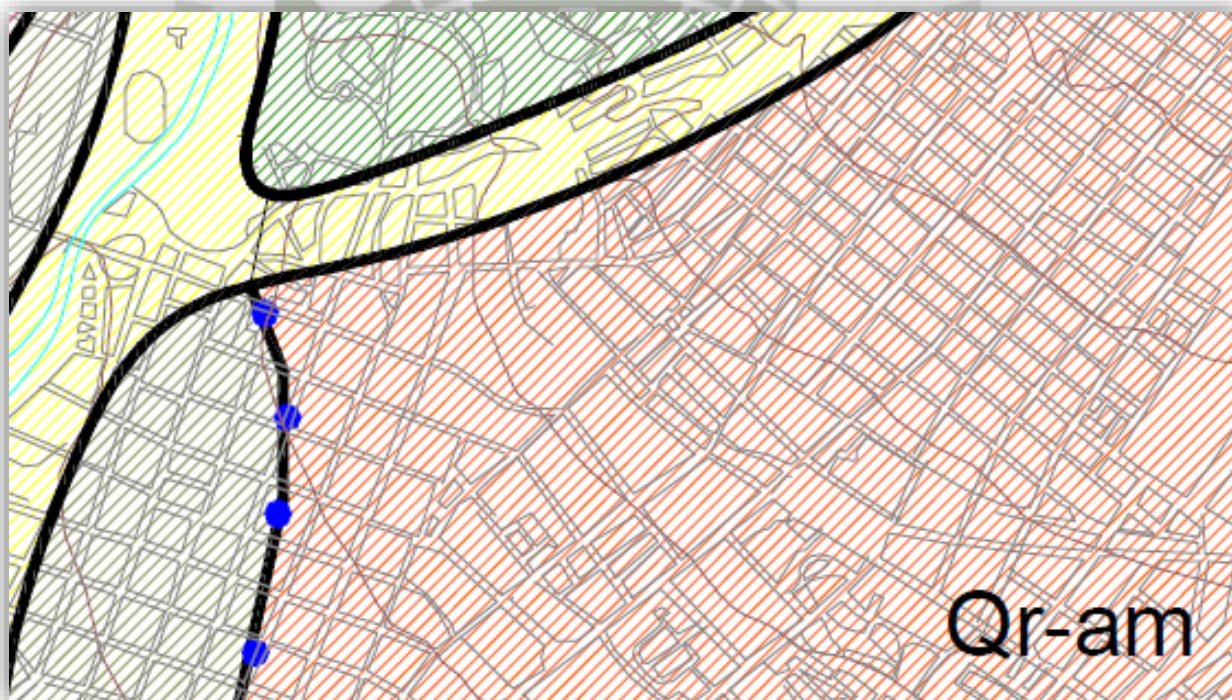
Flujos de Barro: Compuestos por bloques andesíticos de diversos tamaños, cuyos intersticios están rellenos por una matriz arenotufácea.

⁵ Microzonificación sísmica de Arequipa – Zenón Aguilar Bardales, Jorge Alva Hurtado.

Materiales Aluviales: Conformados por el Aluvial de Acequia Alta, Aluvial de Umacollo y Aluvial de Miraflores, constituidos por gravas y arenas de distinta formación; además del Aluvial reciente, constituido por materiales que rellenan los cauces de los ríos y quebradas.



Figura 2: Mapa geológico – Barrio de San Lázaro – Arequipa



Fuente: Mapa Geológico de la ciudad de Arequipa. Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa. Arequipa – Perú.

Del estudio de microtrepidación sísmica se clasificó la zona como tipo C, que está conformada por la mayor parte del casco urbano, entre las que se encuentran los distritos de Cayma, Yanahuara, el Cercado, parte de Cerro Colorado y las partes bajas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata. Los suelos de esta zona presentan características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm². El nivel freático se encuentra

a más de 5 m. de profundidad, excepto en la zona del balneario Tingo, en la que el nivel freático se encuentra muy cerca de a la superficie. Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

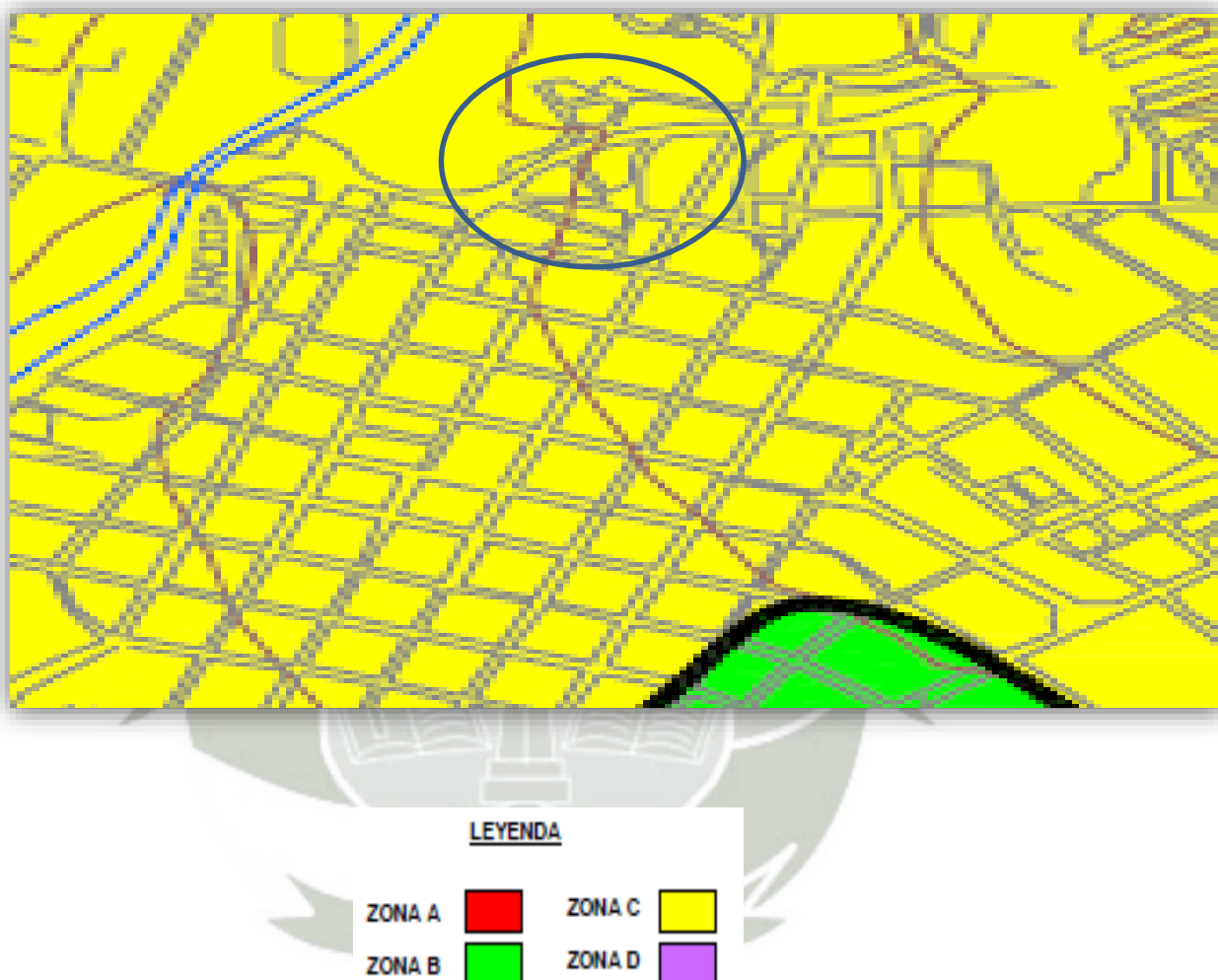


Figura 3: Mapa de microzonificación sísmica – Barrio de San Lázaro – Arequipa

Fuente: Mapa Geológico de la ciudad de Arequipa. Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa. **Arequipa – Perú.**

2.2.2 Zona de vida

En la zona de estudio podemos encontrar poca vegetación, entre las cuales tenemos plantas ornamentales en algunas viviendas y en la Plaza Campo Redondo, donde encontramos árboles y césped.

Entre los arboles tenemos:

- Ciprés limón chico
- Chifleras
- Molle

Como fauna podemos ver la presencia de palomas, aves pequeñas y perros vagabundos que rodean la zona.

2.2.3 Clima

El Clima en el barrio de San Lázaro es habitualmente templado por la condición térmica y seca debido a la humedad atmosférica. Existe un sol permanente durante el año lo cual es reflejado en su promedio de 300 días de sol al año y una cifra de 4000 horas de exposición al sol.

Tiene una temperatura media máxima de 21 °C y una temperatura promedio mínima de 10°C. La humedad promedio anual es de 46%, con una máxima promedio de 70% en verano y una mínima de 27% en otoño, invierno y primavera. La ocurrencia de vientos se presenta principalmente en horas de la noche y primeras horas del día, se presentan brisas de montaña que presentan una dirección Nor-Este y en el transcurso del día predominan las brisas de valle con una dirección Sur-Oeste. La velocidad del viento a lo largo del día oscila entre 1,5 m/s y 2,5 m/s.⁶

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Arequipa>

2.2.4 Precipitación

Precipitación total acumulada anual en la ciudad de Arequipa es de 194.30 mm. En promedio 75,76 mm⁷

2.2.5 Población

El barrio de San Lázaro está compuesto por 112 Viviendas, teniendo un aproximado de 952 personas, que representan 1.76% de la población del distrito de Arequipa que es de 54,095 habitantes (Año 2015)⁸

2.3 Ambiente económico y social

En la zona podemos encontrar la presencia de comercio en distintos niveles, hoteles, restaurantes, centros de entretenimiento, galerías de arte, instituciones, etc., como:

Hoteles:

- Il Riposo Hostel
- Maison du Solei
- Marlon's House
- Hotel Fundador
- El Solar de la Macarena

Restaurantes

- Arthur Restaurant
- Piccoli Piccati
- Yarabayas – Café Restaurant
- Peperos Chicharroneria

⁷ Estudio de precipitación cuenca del chili

⁸ Página web del INEI –<http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>

- Misti Pizza

Instituciones y/o asociaciones

- Instituto Nacional de Cultura
- Asociación Parque Industrial Porvenir
- Comunidad Cristiana Bodas de Caná
- Casa Guías de Montaña
- Galería de Arte Paolo Cordano art
- Informativo mensual “La gaceta del jubilado”

Otros

- Vintage blues & Café – Lounge art / show
- Casa guardería manantiales
- La tienda Puccara Bulls
- Centro terapéutico y quiropraxia
- Tienda de abarros

2.4 Tipología estructural

Las estructuras que se pueden encontrar en el área de estudio son mayormente de mampostería de sillar no reforzada presentes en 94 lotes, lo cual representa 83.9 % del total de edificaciones de San Lázaro.

Las edificaciones de mampostería reforzada no son producto de esta investigación, y su vulnerabilidad se considerará baja debido a que consideraron los parámetros del RNE para su construcción. (Se determinó esto previa inspección visual).

Las condiciones de mantenimiento varían mucho entre las estructuras, ya que encontramos edificaciones en perfecto estado de conservación y otras en abandono, algunas de ellas presentan grafitis en las paredes, lo cual no se puede corregir debido a permisos del INC.

2.5 Servicios públicos

2.5.1 Red de energía eléctrica

La red de energía eléctrica es provista por la empresa SEAL, este barrio cuenta con dos subestaciones eléctricas.

2.5.2 Red de drenajes

El barrio de San Lázaro cuenta con red de drenaje de aguas negras y grises, la cual ha sido provista luego de la construcción de las viviendas, ya que muchas de ellas datan de fines del siglo XIX e inicios del siglo XX. Esta es administrada por SEDAPAR.

2.5.3 Red de agua potable

La red de agua es provista por la empresa SEDAPAR, la cual dota de agua que es tratada en la Planta de la Tomilla.

La red de agua está distribuida para cada una de las viviendas, no hay dispensadores colectivos.

2.6 Vías de acceso



El barrio de San Lázaro tiene varios accesos, de los cuales algunos son solo peatonales, ya que, por la distribución de sus calles algunas de éstas tienen vías de sección variable, estrechándose de tal forma que no permitiría el acceso vehicular.

Desde la Av. Juan de la Torre en el Norte:

Acceso peatonal por la calle Comandante Naval y pasaje Violín.

Acceso vehicular por la Calle Comandante naval.

Desde la Calle Puente Grau en el Sur:

Acceso vehicular y peatonal por el Pasaje Tejada.

Desde la Calle Jerusalén en el Este:

Acceso vehicular y peatonal por la Calle Campo Redondo.

Acceso vehicular y peatonal por el Pasaje Tejada.

Desde la Plaza Independencia (Av. La Marina) en el Oeste:

Acceso peatonal y vehicular por los Pasajes Cristales y Bayoneta.





CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades de sismología y sismotectónica

La sismología es el estudio de las causas de los sismos, de la comprensión de los principios teóricos y los datos experimentales que los caracterizan y, en lo posible, el estudio de su predicción. La Ingeniería Sísmica es en cambio aquella rama de la mecánica aplicada que, partiendo de los resultados suministrados por la sismología, se ocupa del análisis y diseño de las construcciones sometidas a las sollicitaciones producidas por los desplazamientos del terreno, causados por los sismos. Estos movimientos, traducidos en vibraciones, se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en las que la corteza terrestre se divide y que se producen cuando las grandes presiones que los flujos de magma ejercen sobre la corteza terrestre superan los esfuerzos de fricción entre las placas. A su vez los desplazamientos dan lugar a la liberación de grandes cantidades de energía almacenada en las rocas. Esta energía se manifiesta en forma de ondas vibratorias que se propagan a lo largo de la corteza terrestre.

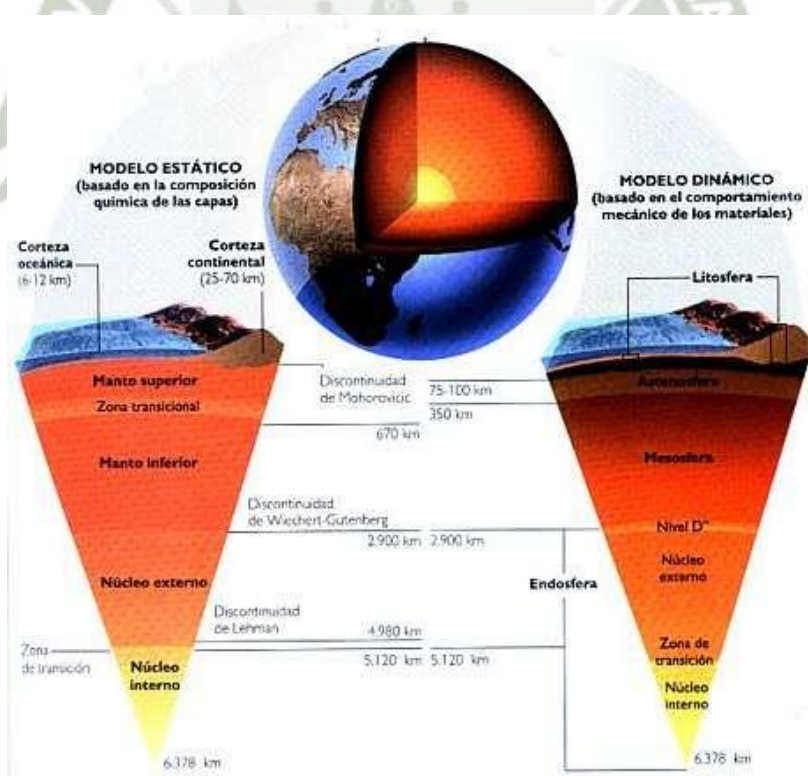


Figura 5: Distancias de las capas que forman la estructura del globo terrestre.

Fuente: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/tierra.htm>

2.2.1 Sismos. Sismo o terremoto son todas esas vibraciones producidas en la corteza terrestre cuando las rocas que se han ido tensando se rompen de forma súbita y rebotan. Las vibraciones pueden oscilar desde las que apenas son apreciables hasta las que alcanzan carácter catastrófico. En el proceso se generan seis tipos de ondas de choque. Dos se clasifican como ondas internas (viajan por el interior de la Tierra), las otras cuatro son ondas superficiales. Las ondas se diferencian además por las formas de movimiento que imprimen a la roca.

2.2.2 Causas de un Sismo: En la actualidad se reconocen tres clases generales de terremotos: tectónicos, volcánicos y artificiales. Los sismos de la primera de ellas son los más devastadores además de que plantean dificultades especiales a los científicos que intentan predecirlos. Los causantes últimos de los terremotos de la tectónica de placas son las tensiones creadas por los movimientos de alrededor de doce placas, mayores y menores, que forman la corteza terrestre.

La mayoría de los sismos tectónicos se producen en las fronteras de dichas placas, en zonas donde alguna de ellas se desliza sobre otra (lo que se conoce como subducción), como ocurre en la falla de San Andrés en California y México.

Los sismos de las zonas de subducción son casi la mitad de los sucesos sísmicos destructivos y liberan el 75% de la energía sísmica. Los sismos que están concentrados en el llamado Anillo de Fuego, tienen puntos donde se rompe la corteza terrestre y que suelen estar a gran profundidad, hasta 645 Km. bajo tierra.

De las dos clases de terremotos no tectónicos, los de origen volcánico son rara vez muy grandes o destructivos. Su interés principal radica en que suelen anunciar erupciones volcánicas. Estos sismos se originan cuando el magma asciende rellenoando las cámaras inferiores de un volcán.

Las causas de los temblores de tierra son muy diversas. Parece ser que algunos terremotos, locales y de escasa importancia, tienen por origen el hundimiento de cavidades internas de la corteza terrestre, tales como cavernas, frecuentes y características de las zonas calizas. Otros pueden ser producidos por

desplazamientos de grandes masas o compartimentos del suelo, originados por fenómenos de disolución, lo cual pueden ocurrir donde los yesos adquieren grandes extensiones o abunda la sal gema. En estos casos la importancia del fenómeno es escasa y su radio de acción es pequeño.

La acción geológica no es la única causa de los terremotos, pero las características geológicas pueden tener un efecto muy marcado en los resultados locales del sismo. Esto se manifiesta en el hecho de que las vibraciones de los terremotos no se sienten en las minas profundas que se encuentran dentro de las zonas sísmicas; puesto que las vibraciones se propagan a velocidades diferentes en materiales distintos, es de esperarse que los efectos en la roca y en los materiales no consolidados será diferente, como ocurre en la práctica, los terremotos provocan muchos más problemas en las áreas de materiales no consolidados que en la que tienen roca expuesta en la superficie

2.2.3 Tipos de Sismos: los sismos se pueden clasificar en Temblores, Tsunami y Terremotos.

Temblores. Movimiento involuntario, repetido y continuado. Movimiento telúrico. Los temblores terrestres se dividen en cuatro grandes géneros según los casos que les suponen:

Temblores de hundimiento o desmoronamiento. Caracterizados por golpes bruscos y producidos por la erosión subterránea

Temblores de fluctuación. Son oscilatorios y consisten en resbalamiento de las masas terrestres que inducen a las aguas internas a golpear los pilares sustentadores de la corteza, adquiriendo la tierra el movimiento de un navío bajo el influjo de las aguas marinas

Temblores de ondulación. Las tempestades del aire subterráneo elevan y hunden la superficie terrestre.

Temblores de expansión. Son los temibles, impetuosos torbellinos de viento, procedentes del exterior o nacidos en el seno de la tierra, entran en las cavidades internas e invadiéndola sucesivamente las desquician, rompen los obstáculos y se escapan, abriéndose inmensos abismos.

Tsunami. El término tsunami o maremoto (lo que no es muy exacto), proviene del japonés tsu: puerto o bahía y nami: ola. Son olas gigantescas provocadas por terremotos o volcanes que movilizan la tierra bajo el mar, generándose una especie de joroba, que puede no ser detectada en la superficie del agua, pero que va incrementando su fuerza y velocidad llegando a medir 30 metros al llegar a la playa y que avanza a más de 100 Km/h. En los terremotos que se producen cerca de las costas, o en los que su epicentro está bajo el fondo marino, se originan enormes olas, llamadas por los japoneses tsunamis, que se propagan a enormes distancias. El mayor tsunami del que se tiene noticias es el provocado por la erupción del volcán Krakatoa, en el que la ola producida alcanzó una altura media de 42 metros. Japón, por su ubicación geográfica en las orillas del océano pacífico es golpeado por los tsunamis más que cualquier otro país.

Terremotos - Estos Figuran entre los más terribles y devastadores de todos los fenómenos naturales que afectan a la superficie de la tierra y, por ello, a la vida de mucha gente. Tienen verdadera importancia en la ingeniería a pesar de que por fortuna no son frecuentes. Cuando suceden los terremotos, pueden desencadenar tanta destrucción, que sorprende encontrar que su investigación científica data, relativamente, de fecha reciente en el occidente. Los perjuicios de los terremotos en las obras de ingeniería han estimulado el estudio de las fuerzas sísmicas por medio de la sismología, rama relativamente joven de la ciencia.

Los terremotos se clasifican como sigue a continuación:

- **Según la Intensidad.**

En macrosismos y microsismos, los primeros son sensibles para el hombre, siendo observables en una superficie más o menos extensa; los segundos, al contrario, no son perceptibles más que por aparatos especializados.

- **Según la Ubicación en la Placa.**

Sismos interplacas. En las profundidades superficiales, donde los bordes de las dos placas rígidas de la Litosfera se están presionando una contra la otra, existe una actividad sísmica intensa. Muchos de los grandes sismos que ocurren en el mundo, así como los de menor intensidad, ocurren en la zona de cizalladura o de corte entre las dos placas, o sea, la oceánica de subducción y la continental o de arco de islas.

Sismos intraplaca dentro de la placa oceánica. Los sismos de gran profundidad y de profundidad intermedia ocurren generalmente en una zona que se ha denominado Zona de Benioff. Esta zona es un plano de la placa oceánica que se inclina hacia el continente.

Sismos intraplaca dentro de la placa continental. En la placa continental también se encuentran zonas de debilidad denominadas fracturas o fallas geológicas, o sea zonas que han tenido desplazamiento o movimiento de una pared con respecto a la otra. Las zonas de la placa continental que se encuentran más cerca de la zona de contacto con la placa oceánica están más propensas a una acumulación de esfuerzos debido a la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental. (Arteta et al, 2003).

2.2.4 Partes de un Sismo: El origen de estos movimientos se encuentra en el interior de la corteza terrestre en profundidades variables, pues a veces puede ser solo de unos cuantos kilómetros, y en ocasiones de unos centenares de metros.

Las partes de un sismo son: Hipocentro, Epicentro, Isosistas, Homosistas – Dentro de las partes de un sismo se tienen en cuenta:

Hipocentro o Foco. Es la zona o punto donde ha tenido origen un terremoto y que por lo general es reducida; también es llamada zona hipocentral. La liberación súbita de la energía elástica acumulada constituye el origen de un temblor de tierra o terremoto, evento al cual se asignan dos conceptos para su ubicación; el foco es la región del campo de esfuerzos donde se inicia la liberación de energía. El foco hipocentro es llamado algunas veces foco o epifoco. La ubicación del foco se logra a partir del análisis de los sismogramas, registros que dejan en los sismógrafos las ondas de esfuerzo al desplazarse por la tierra.

Epicentro. Punto o zona superficial donde emerge el movimiento vibratorio, y por lo tanto donde mayor intensidad adquiere el fenómeno; también es llamada zona epicentral. El epicentro es la proyección del foco en la superficie terrestre.

Isosistas. Se le llama así a las zonas concéntricas que pueden delimitarse por curvas que unen los puntos donde la intensidad de la sacudida es la misma, ya que en los alrededores de la zona epicentral la intensidad del sismo va decreciendo.

Homosistas. Curvas que unen los puntos donde se perciben con exactitud las primeras sacudidas. Por este medio también se puede ubicar el epicentro.

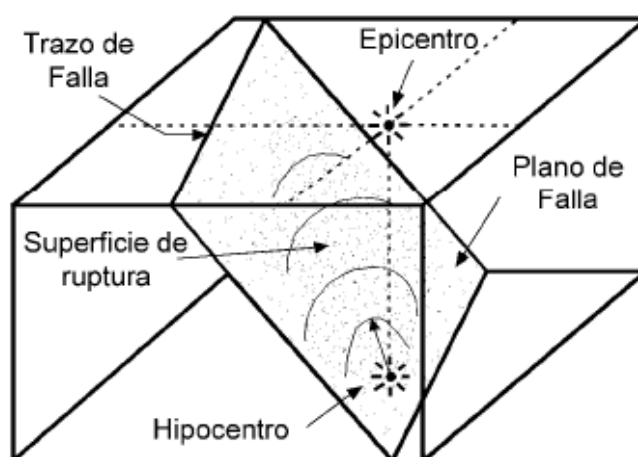


Figura 6: Partes de un sismo

Fuente: (MENA, 2002)

2.2.5 Escalas de Medición para la Intensidad de los Sismos: La intensidad del terremoto es prácticamente el elemento fundamental a considerar, puesto que su

valor habitual o medio define el peligro que representa para el hombre y el grado de atención que requiere. Así pues, han sido establecidas numerosas escalas de intensidad, empíricas o convencionales, experimentándose la necesidad del establecimiento de una media racional y universalmente aplicable, ya que las determinaciones de intensidad sísmica, dependen actualmente de circunstancias contingentes y locales y de la mayor o menor familiaridad del observador con las conmociones sísmicas.

Una de las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica es la Mercalli Modificada, a partir de la cual se han desarrollado otras en el mundo. (Mena, 2002). A continuación se muestra en la Figura 7, la comparación gráfica de las diferentes escalas de intensidad utilizadas en el mundo. Si se observa esta Figura, a excepción de las escalas JMA y Rossi- Forel, el resto tienen valores muy similares, lo cual permite pensar que existe un relativo consenso en la evaluación de los efectos máximos causados por un terremoto.

<i>Daño %</i>	<i>Rossi - Forel</i>	<i>Mercalli Modificada</i>	<i>Geofian</i>	<i>PRC</i>	<i>JMA</i>	<i>MSK</i>	<i>EMS - 98</i>
0	I	I	I	I	I	I	I
			II			II	II
	II	II		II		III	III
	III	III	III	III		IV	IV
	IV	IV	IV	IV	II	V	V
	V	V	V	V	III	VI	VI
	VI	VI	VI	VI	IV	VII	VII
	VII	VII	VII	VII	V	VIII	VIII
	VIII	VIII	VIII	VIII		IX	IX
	IX	IX	IX	IX	VI	X	X
		X	X	X		XI	XI
	X	XI	XI	XI	VII	XII	XII
90		XII	XII	XII			

Figura 7: Comparación Gráfica de las diferentes escalas de Intensidad Utilizadas en el mundo.

Fuente: MENA 2002

Escala de Mercalli y Richter. Las escalas de Mercalli y Richter se utilizan para evaluar y comparar la intensidad de los terremotos. La escala de Richter mide la energía de un temblor en su centro, o foco, y la intensidad crece de forma exponencial de un número al siguiente; es decir que un sismo de siete grados en la escala Richter, es diez veces más intenso que uno de seis grados. La escala de Mercalli es más subjetiva, puesto que la intensidad aparente de un terremoto depende de la distancia entre el centro y el observador. Varía desde I hasta XII, y describe y evalúa los terremotos más en función de las reacciones humanas y en observaciones que la escala de Richter, basada más en las matemáticas. (Arteta et al, 2003).



Magnitud en Escala Richter		Intensidad en Escala de Mercalli	
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado	Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
		Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
		Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores	Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
		Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios	Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
		Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.	Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en la personas que guían vehículos motorizados.
		Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños	Grado X	Dstrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
		Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
8 o mas	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.	Grado XII	Dstrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Figura 8: Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.

Fuente: <http://www.angelfire.com/nt/terremotos>

3.2 Sismicidad en el Perú⁹

La colisión de la placa de Nazca (corteza oceánica) con el borde Oeste de Sudamérica (corteza continental), ha dado origen a la evolución de la Cordillera de los Andes, a la ocurrencia de importante actividad volcánica y a la formación de un gran número de fallas geológicas. En general, la placa de Nazca se desplaza a una velocidad de 8-10 cm/año en dirección NE (DeMets et al 1990), siendo una de las placas de mayor velocidad en el mundo, la misma que permite que las placas de Nazca y Sudamericana soporten una importante deformación produciendo un gran número de sismos de diferentes magnitudes a diferentes niveles de profundidad.

La evolución geodinámica del borde Oeste de Sudamérica y por ende del Perú, se ha realizado con la continua liberación de energía en forma de sismos, de ahí que la sismicidad puede ser dividida en histórica e instrumental. La primera considera básicamente a los sismos ocurridos entre los años 1500 y 1959 aproximadamente y la calidad de su información dependerá principalmente de las fuentes históricas consultadas y de la resolución de los primeros sismógrafos instalados en el mundo alrededor del año 1910. La sismicidad instrumental considera a los sismos ocurridos a partir del año 1960, fecha en que se inicia la instalación de la Red Sísmica Mundial (World Wide Seismological Standart Network), hasta el presente. Durante este periodo, se ha logrado detectar un mayor número de sismos debido al auge de la sismometría y de la informática.

⁹ PELIGRO SÍSMICO EN EL PERÚ

Jorge L. Castillo Aedo - Jorge E. Alva Hurtado

Ponencia presentada en el VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, 6-10 Diciembre 1993.



Figura 9: Esquema del procesos de convergencia de la placa de Nazca (Oceánica) y la Sudamericana (Continental). F1 y F2 indican la dirección de desplazamiento de las placas según DeMetz et al (1990). Las líneas discontinuas indican la ubicación y orientación de la fractura de Mendaña y la Dorsal de Nazca.

Fuente: Centro Nacional de Datos Geofísicos / Instituto Geofísico del Perú

3.2.1 Principales Rasgos Tectónicos

Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la Fosa Oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más saltante precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes. La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et al, 1968). La idea básica de esta teoría es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 Km), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi

lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et al, 1975). Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son:

- La Fosa Oceánica Perú-Chile.
- La Dorsal de Nazca.
- La porción hundida de la costa norte de la Península de Paracas, asociada con un zócalo continental más ancho.
- La Cadena de los Andes.
- Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobreescurrecimientos.

3.2.2 Sismicidad Histórica

La información sobre la sismicidad histórica de Perú data del tiempo de la conquista y colonización hasta aproximadamente el año 1959, y en su mayoría se encuentra esparcida en diferentes obras inéditas, manuscritos, crónicas, narraciones, informes administrativos por parte de los clérigos y gobernantes de aquellos años. La recopilación realizada por Silgado (1978) es la más completa para sismos importantes ocurridos en Perú entre 1513 y 1974, y en ella, el autor describe en detalle las principales características de los sismos (valores de intensidad local y regional), siendo muchos de ellos estudiados por el mismo autor. Asimismo, el autor estima la magnitud para un gran número de sismos a partir del área de intensidad máxima a fin de poder compararlos con otros sismos. Sobre sismicidad histórica, el trabajo más reciente es el realizado por Dorbath et al (1990), los mismos que

consideran una revisión detallada de toda la información existente sobre sismos históricos a fin de correlacionar las áreas de un gran número de sismos. Asimismo, los autores sugieren que los grandes sismos en Perú tienen un periodo de recurrencia del orden de una centuria (100 años).

Es importante remarcar que la calidad de la información disponible para, evaluar la sismicidad histórica, dependerá de la distribución y densidad de la población en las regiones afectadas por los sismos; por lo tanto, existe la posibilidad de que hayan ocurrido sismos importantes en áreas no pobladas o próximas a localidades con las cuales era difícil establecer comunicación. De ahí, la ausencia de información sobre sismos que pudieran haber ocurrido en la Alta Cordillera y Zona Subandina.

En la Figura 10, se muestra la localización y los parámetros hipocentrales de los sismos históricos ocurridos en Perú entre 1500 y 1959 ($M_s 6.0$), los mismos que han generado intensidades mayores a VII en la escala Mercalli Modificada (Silgado, 1978; Dorbath et al 1990). En esta figura se observa que los sismos históricos se distribuyen principalmente entre la línea de fosa y la costa, localizándose en mayor número en la región Centro y Sur de Perú debido probablemente a que estas regiones eran las más pobladas y donde se constituyeron las ciudades más importantes después del siglo XVI.

Nº	Fecha (a/m/d)	Lat. (°)	Long. (°)	Mag (Ms)	Energía (ergios)	Nº	Fecha (a/m/d)	Lat. (°)	Long. (°)	Mag (Ms)	Energía (ergios)
1	1582/01/22	-16.3	-73.3	7.9	4.5E+23	19	1913/07/28	-17.0	-73.0	7.0	2.0E+22
2	1586/07/09	-12.2	-77.7	8.1	8.9E+23	20	1913/08/06	-17.0	-74.0	7.7	2.2E+23
3	1604/11/24	-18.0	-71.5	8.4	2.5E+24	21	1922/10/11	-16.0	-72.5	7.4	7.9E+22
4	1619/02/14	-08.0	-79.2	7.8	3.2E+23	22	1928/04/09	-13.0	-69.0	6.4	2.5E+21
5	1650/05/31	-13.8	-72.0	7.2	4.0E+22	23	1928/05/14	-05.0	-78.0	7.3	5.6E+22
6	1655/11/13	-12.0	-77.4	7.4	7.9E+22	24	1928/07/18	-05.5	-79.0	7.0	2.0E+22
7	1664/05/12	-14.0	-76.0	7.8	3.2E+23	25	1940/05/24	-10.5	-77.6	8.2	1.3E+24
8	1678/06/16	-12.3	-77.8	7.0	2.0E+22	26	1942/08/24	-15.0	-76.0	8.4	2.5E+24
9	1687/09/20	-13.0	-77.5	8.2	1.3E+24	27	1946/09/30	-14.0	-76.5	7.0	2.0E+22
10	1687/10/21	-16.4	-71.6	7.0	2.0E+22	28	1946/11/10	-08.3	-77.8	7.2	4.0E+22
11	1725/01/22	-12.0	-77.0	7.0	2.0E+22	29	1947/11/01	-11.0	-75.0	7.5	1.1E+23
12	1746/09/28	-11.6	-77.5	8.4	2.5E+24	30	1948/05/28	-13.1	-76.2	6.7	7.1E+21
13	1784/05/13	-16.5	-72.0	8.0	6.3E+23	31	1950/05/21	-14.1	-72.0	6.0	6.3E+20
14	1806/12/07	-12.0	-78.0	7.5	1.1E+23	32	1951/03/04	-16.0	-74.5	6.7	7.1E+21
15	1821/07/10	-16.0	-73.0	7.9	4.5E+23	33	1953/12/12	-03.6	-80.5	7.7	2.2E+23
16	1833/09/18	-18.2	-71.0	7.0	2.0E+22	34	1955/07/21	-15.4	-74.0	6.7	7.1E+21
17	1868/08/13	-18.5	-71.2	8.6	5.0E+24	35	1958/01/15	-16.5	-72.0	7.3	5.6E+22
18	1877/05/09	-19.5	-71.0	7.5	1.1E+23	36	1959/02/07	-04.0	-81.5	7.2	4.0E+22



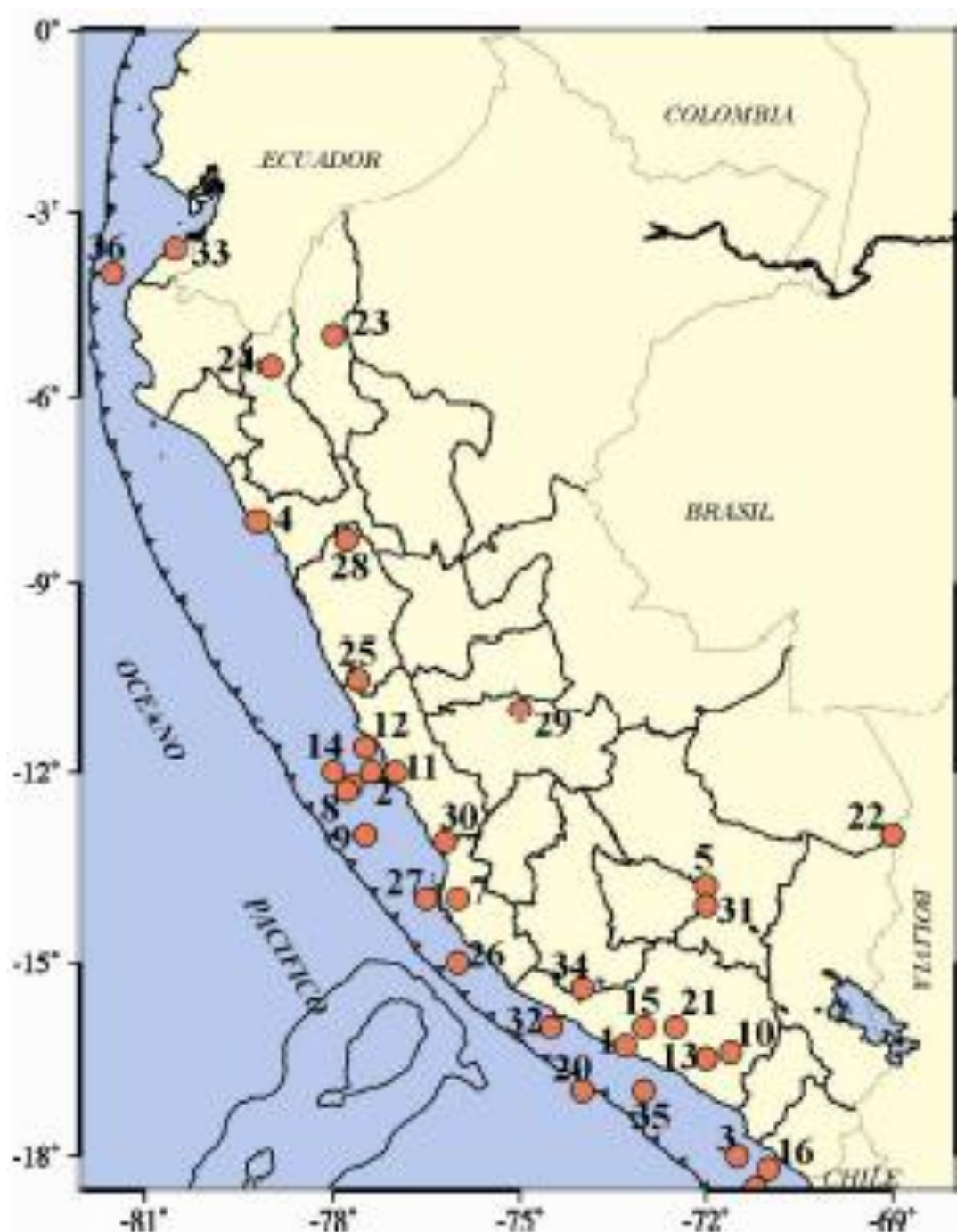


Figura 10: Sismicidad Histórica de Perú entre 1500-1959, $M_s > 6.0$

Fuente: Silgado 1978





Figura 12: Mecanismos focales para sismos de gran magnitud ocurridos en las regiones centro y sur de Perú entre los años 1940 y 2007

Fuente: Dirección de Sismología – CNDG / Instituto Geofísico del Perú

3.2.3 Sismicidad Instrumental

La información sismológica instrumental del Perú se encuentra recopilada en el Catálogo Sísmico del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina, 1985), que tiene eventos desde el año de 1900. Este catálogo fue actualizado hasta 1990-I con los datos verificados por el ISC (International Seismological Centre). Para la elaboración de este catálogo se consideraron los registros cuya magnitud mb es mayor ó igual a 4.0, ya que a partir de este valor los sismos adquieren importancia ingenieril. La información sismológica de 1990-II a 1991-II tiene carácter preliminar y ha sido recopilada del NEIC (National Earthquake Information Center) y del IGP (Instituto Geofísico del Perú).

En el catálogo sísmico (1900,1990-I) depurado se cuenta con 4276 sismos. La estadística sísmica no es homogénea o íntegra; la mayor parte de los eventos ocurridos antes de 1960 no tienen reportada su magnitud. Sólo a partir de 1963 los datos instrumentales son más precisos, año en el cual la red de sismógrafos WWSSN (World Wide Standard Seismograph Network) estaba finalmente instalada. La base de datos que se utilizó en el presente trabajo está conformada por los sismos comprendidos entre 1963 y 1990, los mismos que corresponden a 3892 eventos principales e independientes.

3.3 Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad Sísmica¹⁰

En concepto de peligro se refiere a un factor de riesgo externo de un sistema o de un sujeto expuesto, que se puede expresar como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado. La vulnerabilidad se entiende, como un factor de riesgo interno que está expresado como la factibilidad de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza peligro.

De esta manera, el riesgo corresponde al potencial de pérdidas que puede ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, resultado de la interacción del peligro y la vulnerabilidad. Así, el riesgo puede expresarse en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales y ambientales en un cierto sitio y durante un cierto periodo de tiempo.

Lo que nos indica que no existe peligro y vulnerabilidad aislados, pues son situaciones mutuamente condicionantes, que se definen en forma conceptual independiente para efectos metodológicos y para una mejor comprensión del riesgo. En muchos casos no es posible intervenir sobre el peligro para reducir el riesgo, la alternativa es modificar las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos.

¹⁰ Fuente: Ministerio del Ambiente

Razón por el cual con mucha frecuencia en la literatura técnica se hace énfasis en el estudio de la vulnerabilidad y en la necesidad de reducirla mediante medidas de prevención y mitigación, sin embargo lo que realmente se intenta de esta manera es la reducción del riesgo.

En este contexto, para elaborar el Mapa de Vulnerabilidad Sísmica del Barrio de San Lázaro, se ha tomado en cuenta los conceptos acordados y uniformizados a nivel nacional e internacional.

a. Desastre.- Es la interrupción severa del funcionamiento de una comunidad causada por la activación de un peligro de origen natural o antrópico, ocasionando pérdidas económica, de vidas humanas, de infraestructura, entre otros.

b. Peligro/Amenaza.- Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el ambiente. Cabe anotar que en otros países se utiliza el término de amenaza, para referirse al mismo concepto.

c. Vulnerabilidad.- La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales.

d. Susceptibilidad Física.- Referida a la mayor o menor predisposición que un espacio geográfico sea modificado por eventos naturales

e. Riesgo.- Es la estimación probable de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico. Una vez identificado los peligros (P) a la que está

expuesta el elemento y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo(R), es decir estimarla.

$$R = f(P, V)$$

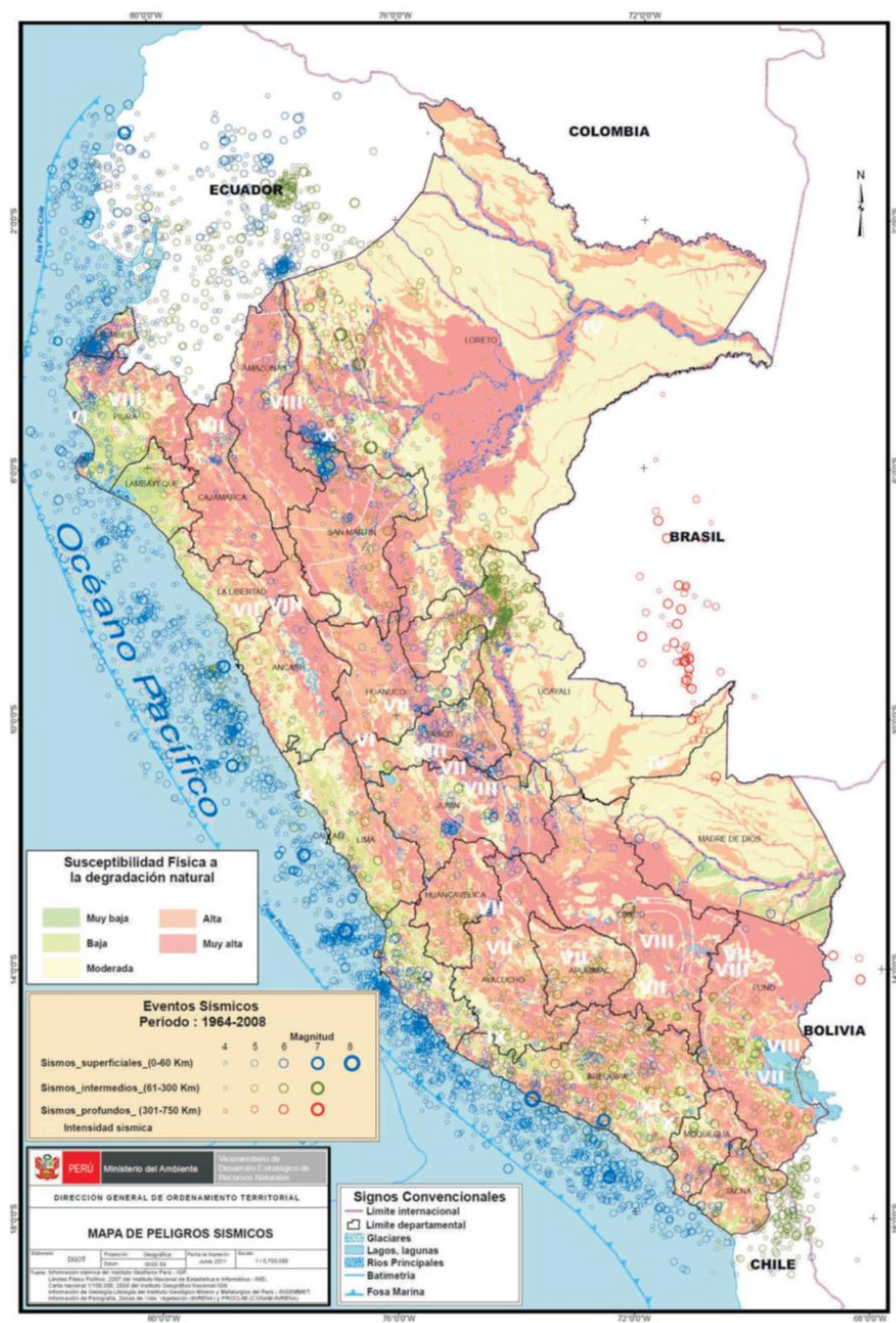


Figura 13: Mapa de Peligros Sísmicos

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

3.4 Historia sísmica en Arequipa¹¹

Según los antecedentes históricos, en Arequipa existe una intensa actividad sísmica, teniéndose noticias de sismos ocurridos desde la época incaica a través de informaciones recogidas por cronistas e historiadores. Así tenemos que:

- Entre los años 1471 a 1490, en la época del inca Túpac Yupanqui, ocurrió un terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa. Hubo erupción del volcán Misti (Silgado, 1978).
- En Enero de 1600 se produce la erupción del volcán Huaynaputina, dejando en tinieblas por varios días a la ciudad de Arequipa. La erupción provocó un terremoto que destruyó esta ciudad (Silgado, 1978).
- El 13 de Agosto de 1868 se produjo un terremoto que alcanzó una intensidad de XI en la escala de Mercalli Modificada, seguido de un gran Tsunami que arrasó gran parte del litoral peruano. Toribio Polo se refiere a este terremoto como uno de los mayores ocurridos en el Perú desde su conquista (Silgado, 1978).
- Dentro de los eventos sísmicos más recientes tenemos: el terremoto del 15 de Enero de 1958, que alcanzó una intensidad de VII MMI; el terremoto del 13 de Enero de 1960, que tuvo una intensidad de VIII MMI, y el terremoto del 16 de Febrero de 1979, que en la ciudad de Arequipa alcanzó una intensidad de VI MMI.

El más reciente el terremoto del 23 de Junio del 2001, un terremoto de magnitud mb igual a 6.9 ($M_s=7.9$) afectó toda la región Sur de Perú, incluyendo las ciudades de Arica e Iquique en Chile y La Paz en Bolivia. La intensidad máxima observada quedó restringida en VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada.

Todos estos eventos sísmicos han ocasionado grandes pérdidas materiales y un considerable número de víctimas.

¹¹ Microzonificación sísmica de Arequipa – Zenón Aguilar Bardales, Jorge Alva Hurtado.

La información instrumental, de creciente precisión a partir de 1962, ha permitido conocer la distribución espacial de la actividad sísmica en la zona de Arequipa y la identificación de dos zonas de actividad sísmica superficial, la primera paralela a la costa y la segunda al oeste de la cadena volcánica, a unos 70 Km de la línea de costa (Kosaka, 1976; Lazo, 1989).



Figura 14: Vista del preciso momento del derrumbe de la Basílica Catedral de Arequipa en el terremoto del 23 de Junio del 2001

Fuente: Fotógrafo Fernando Choquecota

3.5 Factores que propician la vulnerabilidad sísmica de las estructuras

Existen muchos factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica de las estructuras generadas desde la concepción hasta el mantenimiento de las construcciones, siendo algunas de las más importantes las siguientes:

a) Simetría

Una construcción es más vulnerable mientras menos simétrica sea con respecto tanto a sus dos ejes de planta como a su elevación, hay que recordar que mientras más similar a la forma cuadra sea es mejor.

b) Centro de masa y de rigideces

La configuración y colocación de los elementos estructurales es muy importante para el comportamiento sísmico de las estructuras, en varias estructuras por varias razones se han colocado los elementos de manera que entre el centro de rigideces y masas se ha generado una excentricidad, lo cual genera la presencia de momentos torsores que devienen en una construcción sísmicamente vulnerable.

Si por la zona de construcción no se pudiese encontrar simetría es preferible generar estructuras aisladas de menor tamaño, de manera que se pueda asegurar una menor probabilidad de daño ante sismos.

c) Continuidad

Los cambios bruscos en las estructuras generan la presencia de concentraciones de desfuerzo en las estructuras, además de generar una discontinua transmisión de las fuerzas y variaciones de rigideces y resistencia.

La falta de continuidad genera fenómenos en las estructuras como el denominado piso blando, generando daños en las estructuras por compresión y corte.

d) Rigideces

La rigidez depende en gran medida de los elementos y los materiales de los cuales están hechos, altas rigideces permiten menores deformaciones que reducen los daños.

Además es necesario evitar el daño de estructuras por estar unidas a elementos de rigideces diferentes como en los casos donde se produjo el

denominado fenómeno de columna corta, el cual es evitable mediante juntas entre los elementos.

e) Ductilidad

La ductilidad mide la capacidad de un elemento o sistema estructural para poder ser deformado sin colapsar, permite absorber la energía sísmica y disiparla a través de mecanismos internos de la estructura.

f) Resistencia

Los materiales son fundamentales en la construcción y es muy importante por ello contar con los adecuados y que estén normados.

La resistencia de los materiales, elementos y sistemas estructurales permite que se soporten las combinaciones de cargas a las cuales podría ser sometida la estructura durante movimientos sísmicos y otros fenómenos para los cuales se diseña.

g) Suelos

Es necesario el conocimiento de las propiedades del suelo donde se va a cimentar para poder elegir la cimentación más adecuada, de manera que la estructura no sufra daños producto de suelos de mala calidad o de niveles freáticos que la afecten.

h) Practica constructiva

La edificación de estructuras de forma inadecuada, producto de una mala práctica constructiva derivada de los malos materiales elegidos o del empleo de mano de obra no calificada deviene en errores estructurales que posteriormente podrían comprometer la estructura y su respuesta en el caso de sismo u otros fenómenos.

i) Elementos no estructurales

Los elementos no estructurales que podemos observar que tienen fin ornamental o que a pesar de ser un conjunto con la edificación, su comportamiento es diferente a la estructura en estudio.

j) Conservación de las edificaciones

El estado de conservación en las edificaciones es un factor importante, el paso del tiempo propicia en ellas deterioros que de ser muy graves comprometen el funcionamiento estructural de las mismas.

Las edificaciones están expuestas a muchos fenómenos naturales como lluvias, vientos, polvo, etc. Además están expuestos en algunas ocasiones a vegetación o animales que deterioran las estructuras de maneras muy diversas pero que terminan comprometiendo la estructura y ocasionando riesgos potenciales ante sismos.

3.6 Historia de los monumentos históricos**3.6.1 Sistema estructural de edificaciones en sillar¹²**

El 51.15% de las edificaciones de centro histórico son de sillar y principalmente de la época republicana y colonial. Se puede destacar los siguientes tipos de construcciones como los más empleados y representativos: bóvedas, cúpulas, edificaciones con techo plano y puentes. Antiguamente se utilizaban los muros tipo sándwich de un espesor que llegaba hasta los 2 m de las cuales arrancan las bóvedas; estas paredes eran construidas con sillares que se colocaban parados, la manera de acomodarlos era: 2 sillares se colocaban con la superficie mayor hacia fuera y el tercero se le ponía de filo, para así formar lo que se llamaba trabazón, esto se hacía en las dos caras de la pared quedando en el medio un claro que se rellenaba con trozos de sillar (ripio), piedras y mortero de cal

¹² Daños en edificaciones de sillar de la ciudad de Arequipa ocasionados por el sismo del 23 de junio del 2001 - Caceda Quezada, Claudia Gytzel - Portugal Barriga, Pablo Amilcar – X Congreso Nacional De Estudiantes De Ingeniería Civil UNI-FIC

(calicanto) que proporciona una gran adherencia entre las dos caras del muro, también se han encontrado relleno de barro con piedras; cabe destacar que la mayoría de muros con fallas tienen un relleno de barro con piedras lo que confirma el buen funcionamiento de los muros que emplearon mortero de cal, ripio y piedras, que tiene una resistencia en algunos casos comparable con el concreto pero su problema es el tiempo de fraguado.

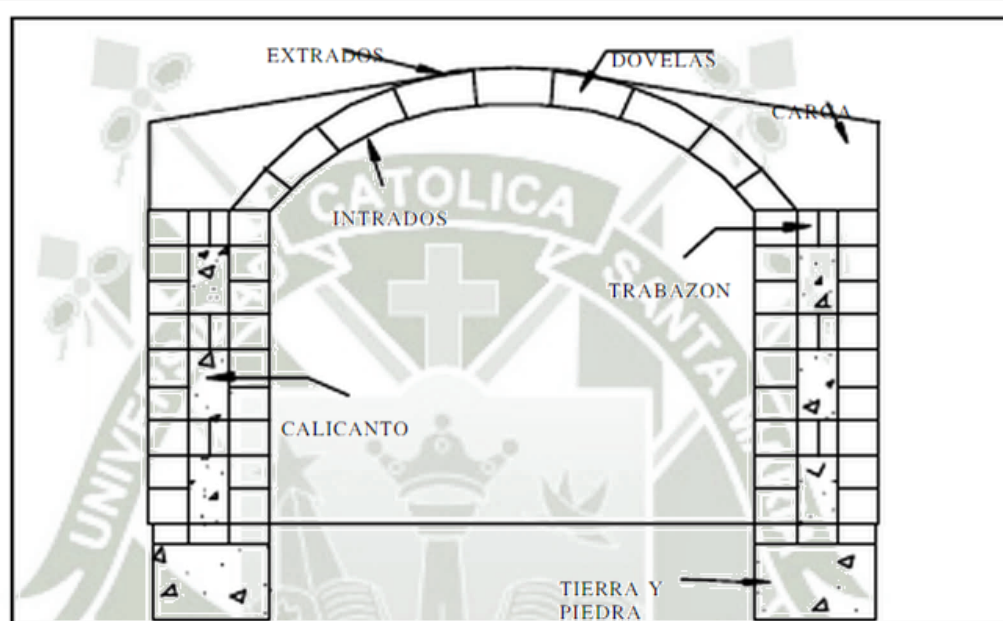


Figura 15: Sección típica de estructuras de albañilería en sillar

Fuente: Referida en título

El comportamiento estructural de estas edificaciones se basa en su estabilidad por su propio peso, la robustez de sus muros (entre 1 y 2 m) es el factor principal para la funcionalidad de estas edificaciones. La cimentación de estos muros varía entre 1 a 1.2m de profundidad, consistente en una mezcla compactada de tierra y piedras redondeadas de gran tamaño. Por su proceso constructivo las unidades conformantes de un muro se encuentran prácticamente apiladas una sobre otra con presencia de mortero en algunos casos y en otros no, los morteros utilizados no han tenido ningún tipo de estudio, su único confinamiento es en la unión de los muros en forma dentada en las esquinas esto ocasiona que durante un sismo las unidades

se separan entre sí y se pierda la resistencia del muro, presentándose las grietas entre las unidades de sillar lo que conduce al desprendimiento de ellas y el posterior colapso de los muros.

En cuanto a los techos de sillar de las construcciones se empleaban dos sistemas alternativos: un sistema son las bóvedas de sillar en arco cilíndrico de medio punto o arcos rebajados, y el otro consistente en una losa plana y maciza con unidades de sillar. Las bóvedas utilizaban unidades de sillar denominadas dovelas colocadas a presión rellenando el espacio entre unidades con cuñas (ripio de sillar) lo que lograba que las dovelas estén totalmente comprimidas. La bóveda se encuentra apoyada en los muros laterales ejerciendo sobre estos cargas laterales, por ello se colocaba una carga adicional en la parte lateral de la bóveda consistente de ripio de sillar con mortero de cal, ubicada en la unión de la bóveda con el muro evitando la deformación en la parte lateral de la bóveda. El espesor de las dovelas de sillar varía entre 15 a 18 cm y un máximo de 20 cm. La construcción más representativa de este sistema es el Templo de la Compañía de Jesús por su antigüedad (400 años). También se destaca la existencia de bóvedas construidas con ladrillo siguiendo el mismo proceso constructivo de las bóvedas de sillar, un claro ejemplo son las bóvedas de la Catedral de Arequipa.

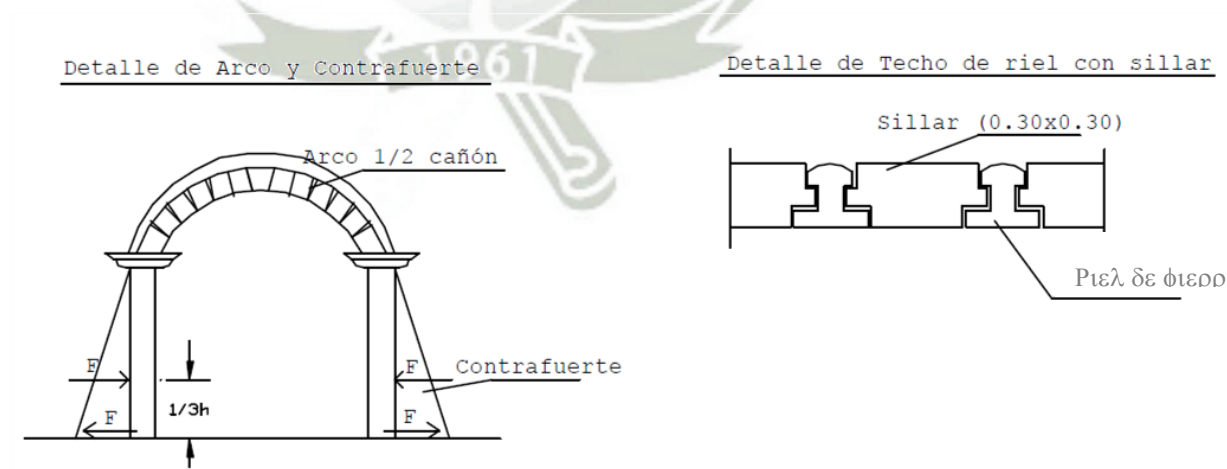


Figura 16: Detalles de arcos con contrafuertes y losas planas con vigas de riel

Fuente: El Centro Histórico de Arequipa y su vulnerabilidad sísmica - Yanina Franco Lazarte

Las losas planas están conformadas por viguetas de rieles y unidades de sillar especiales de 25 a 30 cm de ancho, 60 cm de largo y 18 cm de espesor dándoles la forma aproximada del riel, las unidades se apoyaban aproximadamente 5 cm en cada riel y estos rieles a su vez se apoyaban en los muros laterales; con los sismos anteriores muchas bóvedas colapsaron y este sistema empezó a ser empleado reemplazando a bóvedas colapsadas. Para evitar la separación entre rieles se emplearon tensores de acero sujetos en columnas de rieles colocadas estratégicamente en el interior de los muros; en las losas el daño más frecuente encontrado es la separación que presentan las uniones de los rieles y el sillar ocasionando la reducción de los apoyos de las unidades y posterior colapso parcial de unidades.

Principalmente en las construcciones religiosas se difundió el uso de contrafuertes laterales para reforzar muros de gran altura, algunos de estos por la excesiva carga lateral presentan fallas por la separación de las unidades de sillar, también es característico la construcción de cúpulas en templos, los daños sufridos por estas son similares a los daños en la bóvedas.

3.6.2 Materiales más usados en monumentos históricos

A. El Sillar



Figura 17: Cantera de sillar de Añashuayco. La piedra de sillar es uno de los símbolos arequipeños.

Fuente: Archivo El Comercio

a) Formación

Existen varias teorías sobre la formación del sillar. Una de ellas pertenece al Dr. William F. Jenks, que considera que el sillar es una roca originada a raíz de una gran erupción volcánica, hace más de 800,000 años. Dice el Dr. Jenks, que una masa de lava, cargada de gas, fue empujada por fuerzas enormes hacia el exterior a través de las quebras o fisuras situadas en las faldas del Chachani. Al llegar a la superficie el gas se expandió violentamente y la lava se desmenuzó en pequeñísimos fragmentos vítreos, pero manteniéndose próximos al suelo, ya que se encontraban cargados de partículas rocosas finas. Esta masa móvil mezcla de gases y material sólido a elevada temperatura se expandió a gran velocidad a través del valle que hoy ocupa Arequipa y Yura; así se fueron llenando las depresiones en su totalidad, pero por su gran peso la nube fue perdiendo velocidad y llegó al reposo, al pie de las barreras formadas por la cadena de “La Caldera” y las montañas situadas al N.O. del río Yura; dejando en toda esta zona un manto de material parecido

al de la ceniza y las partículas rocosas se asentaron y comenzaron a consolidarse.

El calor de la masa depositada era todavía muy elevada, algunas de las partículas se fundieron conjuntamente, dando lugar al endurecimiento del material originalmente suelto, y que dio lugar al sillar.

Las erupciones del tipo descrito se sucedieron rápidamente unas a otras, cubriendo repetidas veces la llanura, llegando a 250 m el espesor del sillar.

Es interesante mencionar que la composición del sillar ofrece contraste con la del material resultante de derrames lávicos de los volcanes de la región. En las lavas son las andesitas, las rocas que predominan grandemente; en el sillar en cambio domina un material muy síliceo, una riolita.

De lo anterior, podríamos clasificar al sillar con una roca efusiva (roca fundida) que se ha derramado sobre la superficie terrestre y se ha enfriado rápidamente.

b) Yacimientos

En Arequipa

- La Pampa, situada al Norte de Miraflores, sillar de mala calidad (pesado y poco resistente a la compresión), gran eflorescencia, lo que malogra los tartajeos de yeso, es el de mayor uso en las antiguas construcciones de Arequipa.

- Pampa Chica, cerca de la anterior, sillar duro, es el que se ha utilizado en el Puente Bolognesi, presenta dificultad para su extracción y por eso que actualmente está abandonado. Es un sillar amarillento.

- Añashuayco, en el N.O. de Arequipa, tiene el aspecto de una gran muralla, en una longitud de 18 km aproximadamente, y es de fácil corte. Aquí podemos encontrar sillar blanco.

- Los Quicos, corre paralela a la quebrada de Añashuayco.

- Yura, Quishuarani y Añashuayco, proporcionan el sillar rosado (éste es el que se presenta en el Palacio Episcopal de Arequipa).

De estas variedades de sillar, los más cotizados son: el sillar blanco y el sillar rosado.

c) Composición mineralógica

Un estudio sobre la composición mineralógica del sillar que fuera realizado en el Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, ha llegado a las siguientes conclusiones:

Estudio Macroscópico:

- Color blanquísimo
- Estado ligeramente intemperizada
- Grano fino
- Textura vitro fragmental
- Minerales plagioclasas, biotita, vidrio volcánico

Estudio Microscópico:

Minerales Observaciones:

Plagioclasas (Na Si 03) En cristales fragmentados y frescos, parece corresponder a una variedad ácida. La cristalización de los individuos es incompleta.

Biotita (Si 03 (0H) Fe) En pajilas sueltas, así como en fragmentos de cristales.

Vidrio volcánico (Si 02) Constituye toda la matriz donde se asocian íntimamente.

Esquirla Conforman parte de la matriz, son abundantes.

Material Devitrificado Constituido por esferolitos posiblemente (Si 02) despóticos.

Trozos líticos (Na Si 03) De naturaleza volcánica de texturas variadas.

e) Propiedades físicas y mecánicas del sillar¹³

En el siguiente cuadro podemos observar las principales propiedades físicas y mecánicas del sillar y mampostería de sillar.

Variable	Valor	Unidad
F'm (Resistencia a la compresión axial de la mampostería)	467	Ton/m ²
E (Módulo de elasticidad de la mampostería)	1987600	Ton/m ²
$\bar{V}$ (Resistencia a la compresión diagonal de la mampostería)	226	Ton/m ²
G (Módulo de corte)	726300	Ton/m ²
τ (Resistencia al corte directo)	14.8	Ton/m ²
Pm (Peso específico de los muros)	1.3	Ton/m ³

¹³ Juan Carlos Lara Galindo - Tesis de grado: Proyecto de Investigación en Albañilería "Ensayos de Albañilería en Sillar" – Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima 1988

3.7 Diagrama de flujo del estudio





CAPÍTULO IV MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

4.1 Método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini (1982)

4.1.1 Descripción del método

El método propuesto por Benedetti y Petrini¹⁴, se define como indirecto y fue adoptado por el Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti (GNDT) del C.N.R (Italia) desde el año 1982, esto con el fin de determinar de una manera práctica la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones existentes. El procedimiento consiste en analizar una serie de datos sobre las características de los elementos que componen una edificación en particular, recopilando cada información en los formularios diseñados para la evaluación de la vulnerabilidad. Este método se caracteriza por ser subjetivo y se basa en el juicio de expertos, permitiendo así, valorar la vulnerabilidad en función de un cierto número de parámetros que representan la predisposición de una edificación a sufrir daño debido a un evento sísmico.

Algunos de esos parámetros se basan en el comportamiento de los elementos estructurales, mientras que otros analizan el comportamiento del conjunto constructivo¹⁵.

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad propuesta por Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad resulta de la suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.

La Tabla 1, muestra los once parámetros considerados en la calificación de las estructuras, los valores correspondientes a los coeficientes de calificación posible K_i de acuerdo a la condición de la calidad (de A –óptimo– a D – desfavorable–) y a los factores de peso W_i asignados a cada

¹⁴ BENEDETTI D, PETRINI V. "Sulla vulnerabilità sísmica di edifici in muratura: Prioste di un método di valutazione, Lindustria delle Costruzioni Roma 1984

¹⁵ GOMEZ I; RODRIGUEZ E. op. cit., p.120.

parámetro. Los factores K_i y W_i se obtuvieron de una manera subjetiva basada en la experiencia de los investigadores y de los datos reales obtenidos en cada evento sísmico. Finalmente, el índice de vulnerabilidad global de cada edificio se evalúa utilizando la ecuación:

$$I_V = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i$$

i	Parámetro	$K_i A$	$K_i B$	$K_i C$	$K_i D$	W_i
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Tabla 1: Escala numérica del índice de vulnerabilidad I_V de los edificios de mampostería no reforzada (Benedetti and Petrini, 1984)

Podemos determinar la siguiente clasificación de acuerdo al porcentaje obtenido.

VULNERABILIDAD		
BAJA	MEDIA	ALTA
$I_V < 15\%$	$15\% \leq I_V < 35\%$	$I_V \geq 35\%$

Tabla 2: Clasificación de la Vulnerabilidad de acuerdo al índice de vulnerabilidad

Al analizar la anterior expresión se puede decir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible.¹⁶

Cada puntaje y peso de los parámetros se determinaron a partir del análisis estadístico y la opinión de expertos, que se obtuvieron de la información recolectada en los terremotos sucedidos desde 1976 en las diferentes regiones de Italia.

4.1.2 Formulario de evaluación

El formulario de evaluación utilizado se encuentra en el anexo A, y los criterios considerados son los descritos en el ítem siguiente.

4.1.3 Criterios de evaluación

Debido a que este método se ha implementado en Europa, más exactamente en Italia por el Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti 1982, se debe entonces, realizar las modificaciones pertinentes para adecuarlas al contexto de la zona y a las edificaciones en estudio, ya que el método original se hizo para unas condiciones diferentes a las nuestras.

Estas modificaciones se harán siguiendo los siguientes aspectos:

- Se analizan los parámetros con el objetivo de verificar si son los necesarios para estimar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones históricas de la zona en estudio frente a la acción sísmica, y luego se realiza una adaptación de las instrucciones de modo, que se pueda determinar la clase de cada parámetro al contexto.
- La asignación de los once parámetros del formulario de encuesta descrito en el apartado anterior, dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se lleva a cabo con la ayuda de las siguientes instrucciones. En éstas se describe

¹⁶ CHAVARRIA D.A; GOMEZ D. "Estudio piloto de vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio cuarto de legua en el cono Cañaveralejo". Tesis de grado, Universidad del Valle. Santiago de Cali. 2001. Cap.6

de forma muy breve, el fundamento teórico de cada uno de los parámetros con el objetivo de proporcionar al observador de campo un cierto criterio de selección.

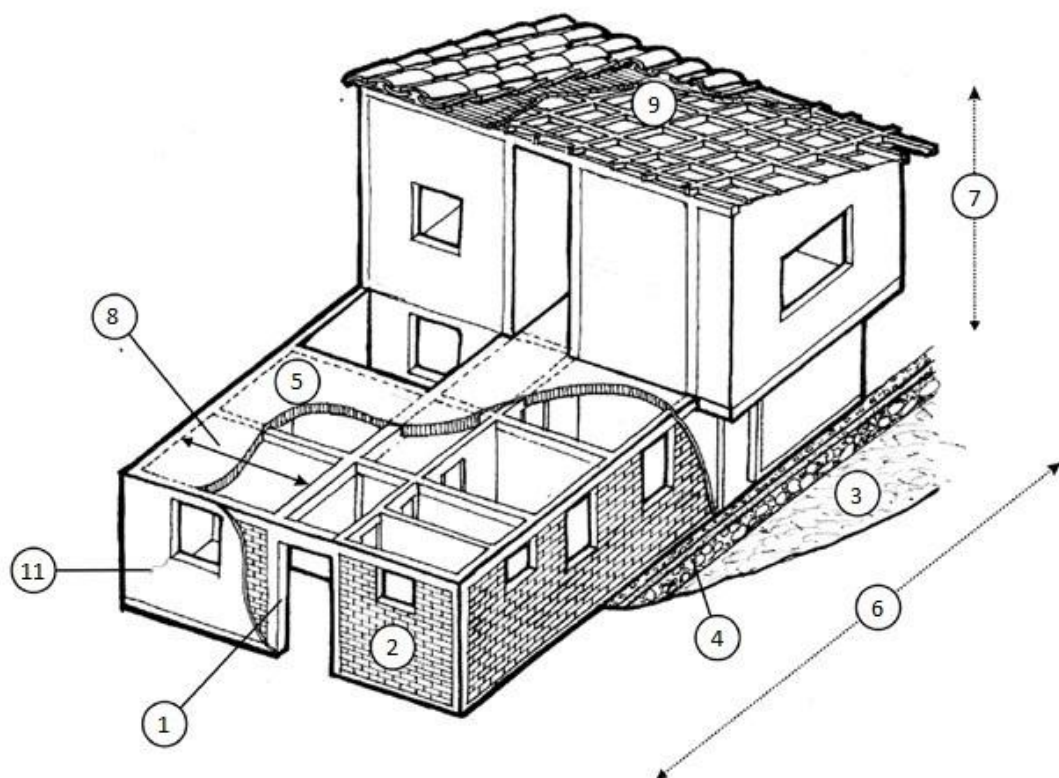


Figura 18: Parámetros del modelo de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería ¹⁷

- (1) Sistema estructural
- (2) Calidad del sistema resistente
- (3) Resistencia estructural
- (4) Posición de la cimentación
- (5) Diafragmas horizontales
- (6) Configuración en planta
- (7) Configuración en elevación
- (8) Distancia máxima entre los muros
- (9) Tipo de cubierta
- (10) Elementos no estructurales
- (11) Estado de conservación

¹⁷ Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos - Esperanza Maldonado Rondón, Gustavo Chio Cho, Iván Gómez Araujo - Ing. Univ. Bogotá (Colombia), 11 (2): 149-168, julio-diciembre de 2007

1. Organización del sistema resistente

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la norma Técnica Peruana para la construcción sismo-resistente.
- B) Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre o de adaraja en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
- C) Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.
- D) Edificio con paredes ortogonales no ligadas.

2. Calidad del sistema resistente

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Se reporta una de las clases:

- A) Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de

dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.

B) Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.

C) Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento.

D) Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

3. Resistencia convencional

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura, la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad. El procedimiento utilizado requiere del levantamiento de los datos:

N: número de pisos.

A_t : área total cubierta en (m^2).

$A_{x,y}$: área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m^2). El área resistente de los muros inclinados un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por $(\cos \alpha)^2$.

τ_k : resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m^2). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_k se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales τ_i ,

utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

$$\tau_x = \frac{\sum \tau_i A_i}{\sum A_i}$$

Ecuación 3.1

h : altura media de los pisos en (m).

P_m : peso específico de la mampostería en (Ton/m³).

P_s : peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m²).

El coeficiente sísmico C , se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y está dado por la expresión:

$$C = \frac{\alpha_0 \tau_x}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 \alpha_0 \tau_x (1 + \gamma)}}$$

Ecuación 3.2

Donde,

$$A = \min \{A_x; A_y\}$$

Ecuación 3.3

$$B = \max \{A_x; A_y\}$$

Ecuación 3.4

$$\alpha_0 = A / A_t$$

Ecuación 3.5

$$\gamma = B / A$$

Ecuación 3.6

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} P_m + P_s$$

Ecuación 3.7

El valor de q representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.

Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor $\alpha = C/\bar{C}$, en donde $\bar{C}$ es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.4.

- A) Edificio con $\alpha \geq 1$.
- B) Edificio con $0.6 \leq \alpha < 1$.
- C) Edificio con $0.4 \leq \alpha < 0.6$.
- D) Edificio con $\alpha < 0.4$.

4. Posición del edificio y de la cimentación

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tiene en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- B) Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y

un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

C) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

D) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

5. Diafragmas horizontales

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se reporta una de las clases:

A) Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:

1. Ausencia de planos a desnivel.
2. La deformabilidad del diafragma es despreciable.
3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.

B) Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.

C) Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.

D) Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

6. Configuración en planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b / L$. En la Figura 6.21 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

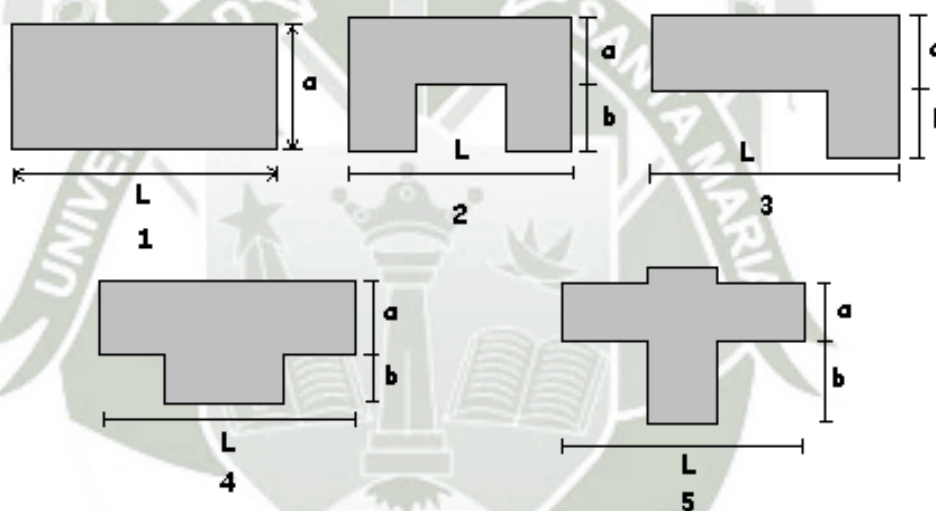


Figura 19: Configuración en planta de la estructura

La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

A) Edificio con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$.

B) Edificio con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.

C) Edificio con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.

D) Edificio con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$.

7. Configuración en elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la Figura 6.22. No se deben tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

También se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm \Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm \Delta A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

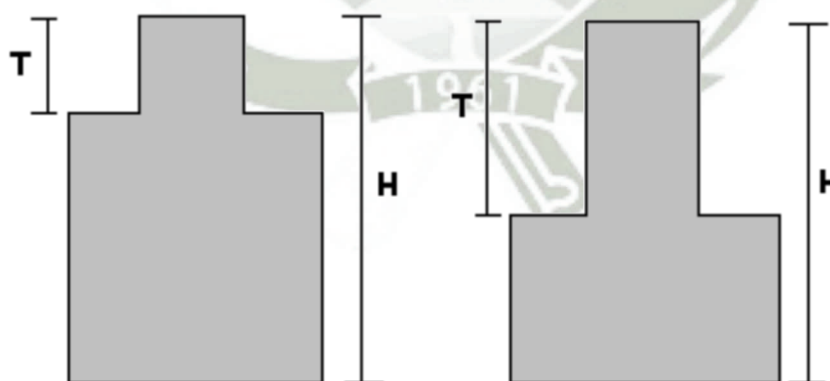


Figura 20: Configuración el elevación de la estructura

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A) Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$.
- B) Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.
- C) Superficie porche $= 10\% \cong 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.
- D) Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$.

8. Distancia máxima entre los muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento de los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A) Edificio con $L/S < 15$.
- B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$.
- C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$.
- D) Edificio con $L/S \geq 25$.

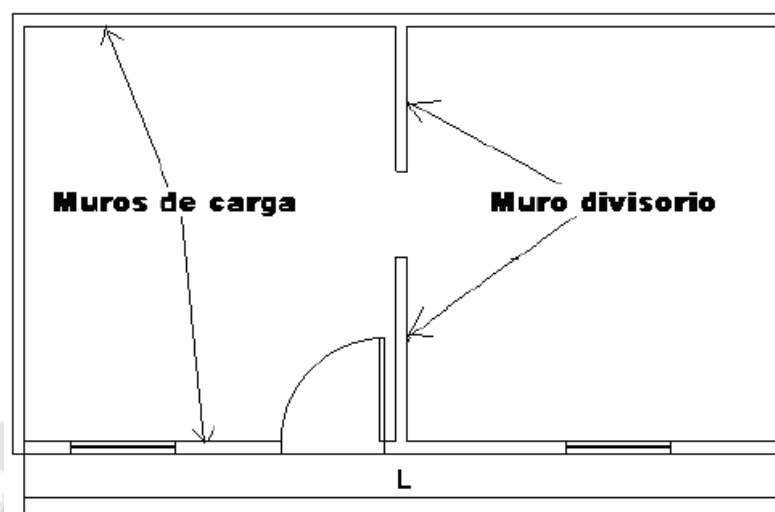


Figura 21: Longitud L: Distancia máxima entre muros

9. Tipo de cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio con cubierta estable y provista de viga cumbrera. Edificio con cubierta plana.
- B) Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbrera. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbrera.
- C) Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbrera.
- D) Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbrera.

10. Elementos no estructurales

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de

la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- B) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- C) Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
- D) Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente.

11. Estado de conservación

Se reporta una de las clases:

- A) Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
- B) Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C) Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.

D) Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

4.2 Resultados obtenidos

Para evaluar los 11 parámetros en cada uno de las edificaciones estudiadas, además de visitar las viviendas, se ha utilizado la memoria y los planos del Plan Catastral de Arequipa del año 1999. Para cada una de las edificaciones analizadas, se ha desarrollado una hoja de cálculo que evalúa, considerando cada uno de los parámetros citados, la clase a la que pertenece la estructura, calculando el IV de la construcción. Los resultados obtenidos se recogen en las tablas adjuntas:

Cada una de las hojas de cálculo se encuentra en el **anexo K**.

Se realizó una distribución de las viviendas de acuerdo a la calle o pasaje donde están ubicadas, en las siguientes páginas podemos encontrar también las gráficas que determinan la cantidad de habitantes, el tipo de uso, y número de pisos de la edificación.

A. Cálculo del parámetro 3

Según el método del índice de vulnerabilidad para cuantificar el parámetro 3, resistencia convencional se requiere establecer la relación $\alpha = C / \bar{C}$ donde $\bar{C}$ es un coeficiente sísmico de referencia, que es el mismo valor del espectro elástico de aceleraciones $S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$ (se establece que este valor es 0.4)

Para hallar **C**, definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, se realiza mediante las fórmulas siguientes, descritas en el método del índice de vulnerabilidad (Ec 3.2 a Ec 3.7).

Para el cálculo de este parámetro se consideraron 8 edificaciones tipo, que engloban características similares concernientes a la distribución de planta, densidad de muros, altura media y número de pisos.

Los planos y cálculos se encuentran en el **anexo L**; los resultados son mostrados en el siguiente cuadro:

TIPO	α	CALIFICACIÓN
E1	1.29	A
E2	2.29	A
E3	0.49	C
E4	1.59	A
E5	2.25	A
E6	0.88	B
E7	1.50	A
E8	2.57	A

Tabla 3: Calificación del parámetro de resistencia convencional para los tipos de edificaciones modelo

B. Cuadros y tablas

➤ Uso de la edificación:

En el siguiente grafico podemos observar los distintos usos que se da a las edificaciones.

TIPO DE EDIFICACIÓN	
Residencial	96
Comercial	10
Oficinas	0
Industrial	0
Reunión / Publica	2
Esc. / Inst.	3
Edif. De Gobierno	1
Servicios de Emergencia	0
TOTAL	112

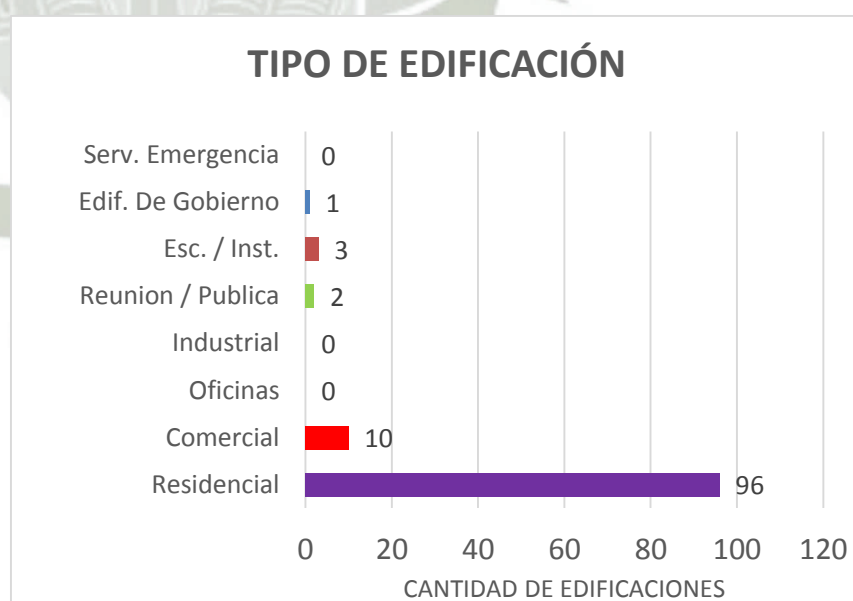


Tabla 4: Tipo de edificaciones en el área de estudio

➤ **Número de pisos:**

N° DE PISOS	
1	63
2	37
3	11
4	1
5	0
TOTAL	112

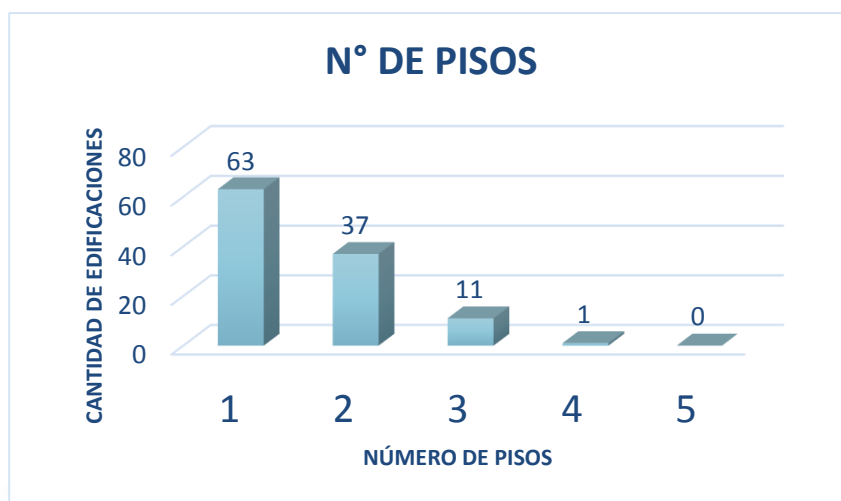


Tabla 5: Número de pisos de las edificaciones del área de estudio

➤ **Número de ocupantes por edificación:**

N° DE OCUPANTES	
0 - 10	87
11 - 100	24
> 100	1
TOTAL	112

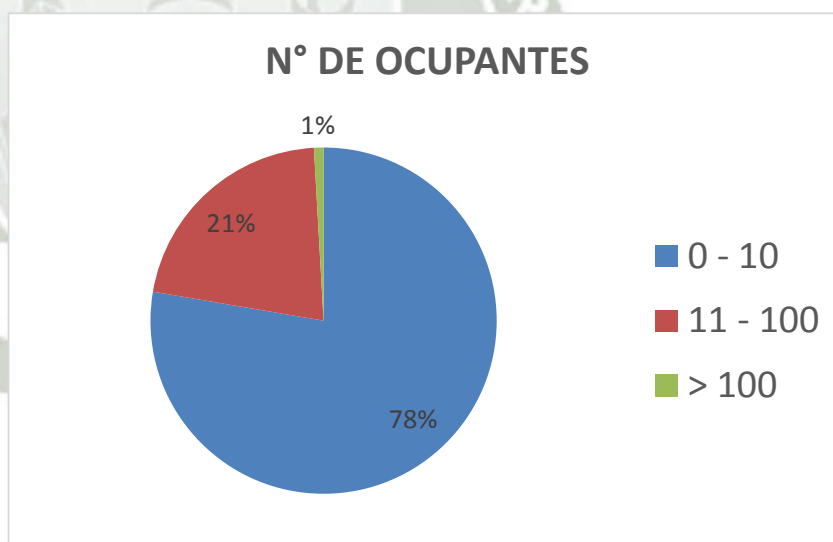
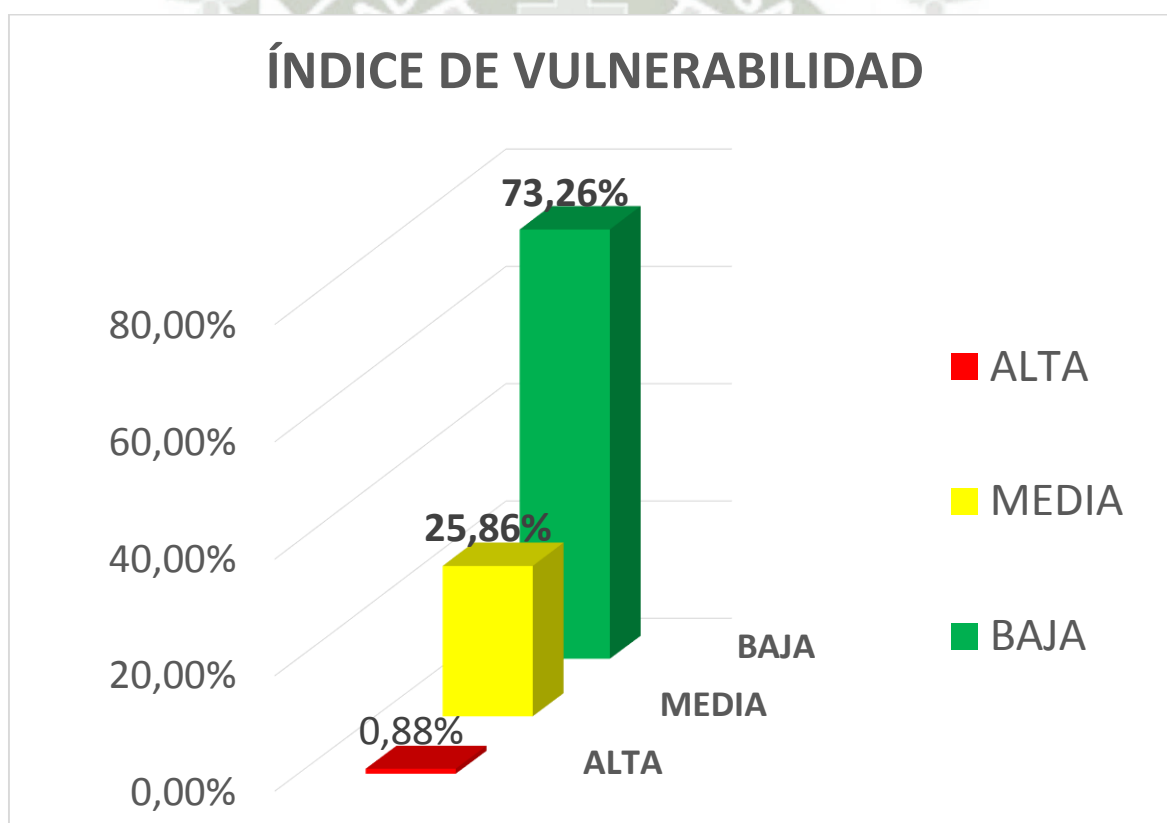


Tabla 6: Número de ocupantes de las edificaciones del área de estudio

➤ Índices de vulnerabilidad global en el Barrio de San Lázaro

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	
ALTA	0.88%
MEDIA	25.86%
BAJA	73.26%
TOTAL	100.00%

Tabla 7: Distribución porcentual del Índice de Vulnerabilidad en el Barrio de San Lázaro



Gráfica 1: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Barrio de San Lázaro

➤ Índices de vulnerabilidad en cada una de las calles que componen el Barrio de San Lázaro

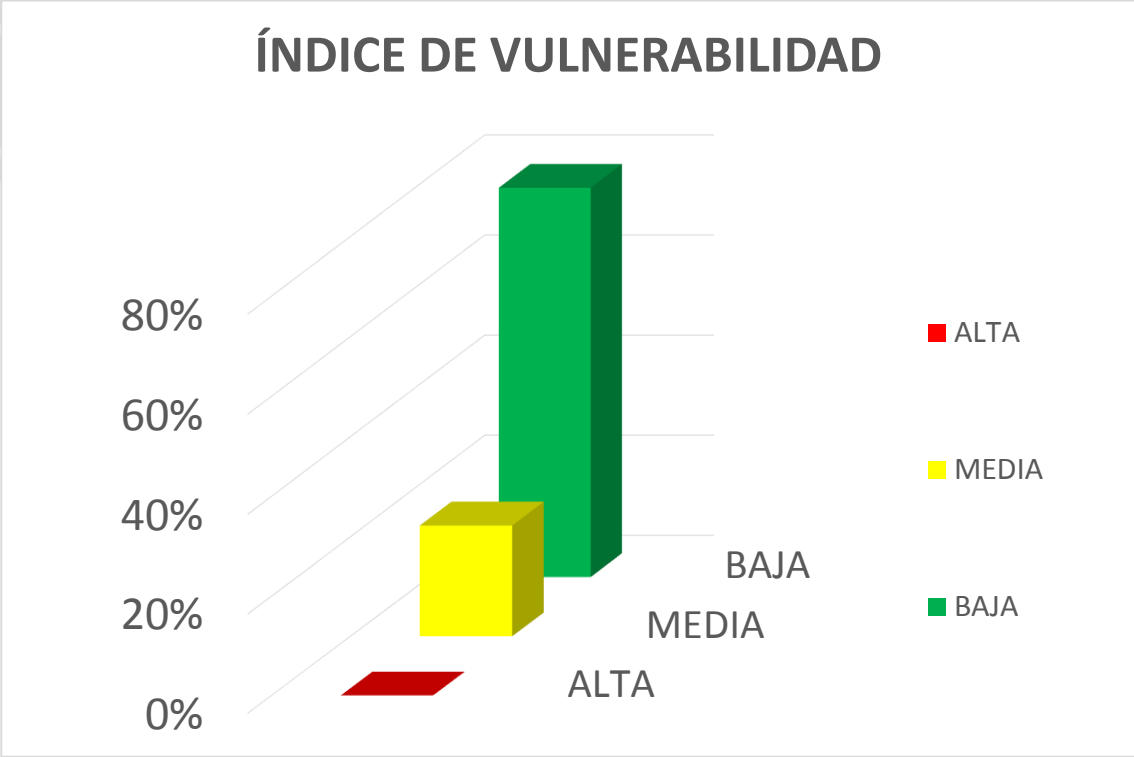
CALLE VIOLINES																		
	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL																	
	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05	A-06	A-07	A-08	A-09	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17	A-18
N° DE OCUPANTES:	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10
N° DE PISOS:	2	1	1	2	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
TIPO DE EDIFICACIÓN:	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Residencial
PARÁMETROS																		
Organización del sistema resistente	C	C	C	C	C	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	A	A	N/A
Calidad del sistema resistente	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	C	B	B	C	B	B	N/A
Resistencia convencional	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	N/A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	N/A
Diafragmas horizontales	A	A	B	B	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A
Configuración en planta	A	D	D	A	C	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	N/A
Configuración en elevación	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	N/A
Separación máxima entre muros	B	C	B	A	D	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	N/A
Tipo de cubierta	B	B	A	B	B	B	B	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	N/A
Elementos no estructurales	A	B	A	A	C	B	B	B	B	B	A	B	B	A	B	A	B	N/A
Estado de conservación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	N/A
Iv:	51.25	78.75	63.75	62.5	110	45	35	15	30	30	30	41.25	47.5	37.5	37.5	10	10	0
Iv(%):	13%	21%	17%	16%	29%	12%	9%	4%	8%	8%	8%	11%	12%	10%	10%	3%	3%	0%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	

Tabla 8: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Los Violines

ALTA	0%
MEDIA	22%
BAJA	78%
TOTAL	100%

Tabla 9: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Los Violines

Gráfica 2: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Los Violines



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	13
11 - 100	5
> 100	0
TOTAL	18

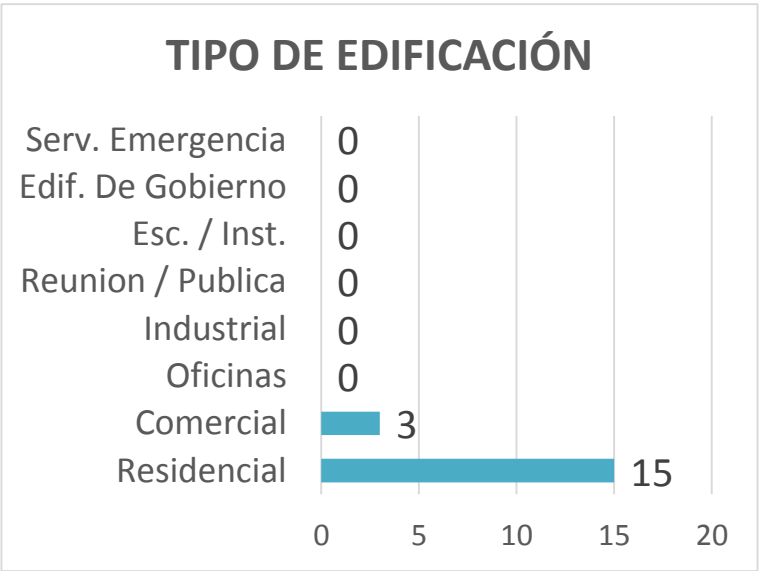
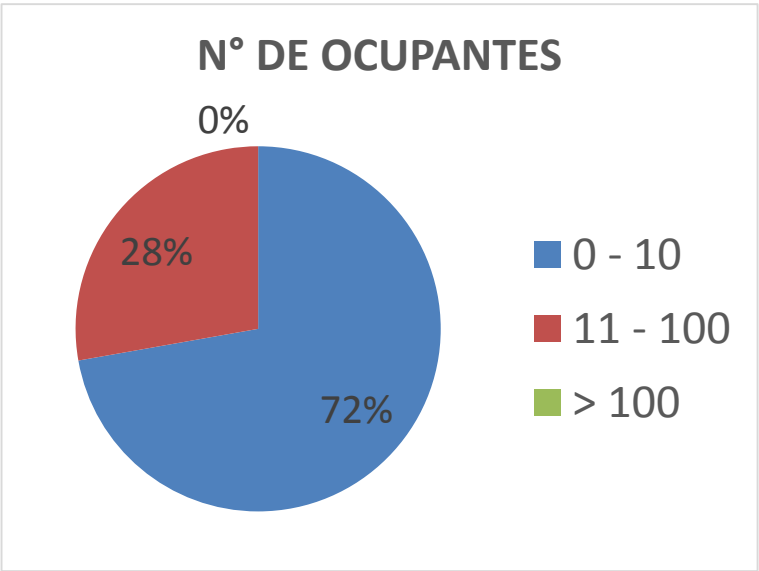
N° DE PISOS:	
1	6
2	11
3	1
4	0
5	0
TOTAL	18

TIPO	
Residencial	15
Comercial	3
Oficinas	0
Industrial	0
Reunión / Publica	0
Esc. / Inst.	0
Edif. De Gobierno	0
Serv. Emergencia	0
TOTAL	18

Tabla 10: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Violines

Tabla 11: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Violines

Tabla 12: Tipo de edificación de la Calle Los Violines



Gráfica 3: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Violines

Gráfica 4: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Violines

Gráfica 5: Tipo de edificación de la Calle Los Violines

B- CALLE LOS CRISTALES

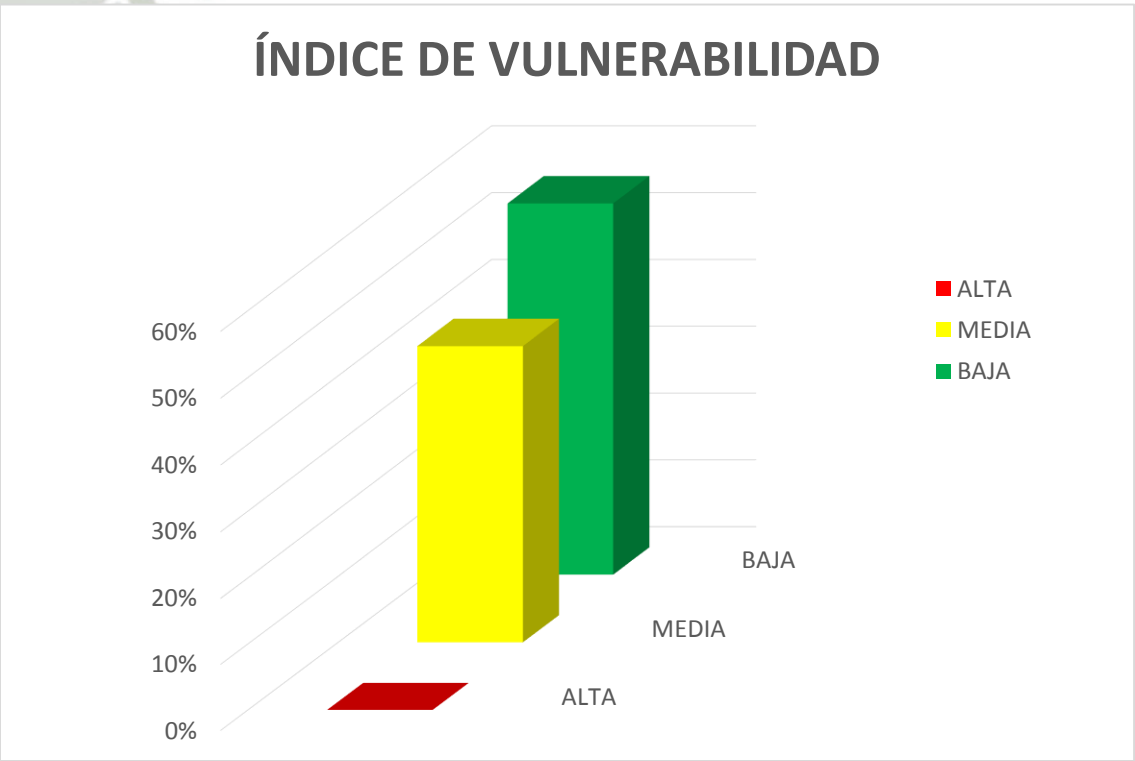
	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL																	
	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09	B-10/C-01	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18/E-21
N° DE OCUPANTES:	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	11 - 100	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10
N° DE PISOS:	2	2	1	2	1	1	3	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1
TIPO DE EDIFICACIÓN:	f. De Gobier	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial
PARÁMETROS																		
Organización del sistema resistente	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	C	C	N/A	B
Calidad del sistema resistente	C	C	C	C	B	C	B	C	C	B	C	C	C	B	C	C	N/A	B
Resistencia convencional	A	B	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	N/A	A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	N/A	B
Diafragmas horizontales	B	A	A	C	A	A	A	A	B	D	A	A	A	A	A	B	N/A	A
Configuración en planta	C	C	B	A	D	B	A	C	B	B	C	B	A	B	B	B	N/A	B
Configuración en elevación	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	N/A	B
Separación máxima entre muros	A	D	D	D	C	C	A	B	A	B	C	C	B	A	A	A	N/A	A
Tipo de cubierta	B	A	B	C	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B	B	N/A	A
Elementos no estructurales	A	B	A	A	A	A	B	C	C	D	A	A	A	A	B	C	N/A	A
Estado de conservación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	N/A	A
Iv:	67.5	66.25	63.75	86.25	73.75	43.75	30	55	56.25	105	53.75	43.75	43.75	12.5	77.5	88.75	N/A	17.5
Iv(%):	18%	17%	17%	23%	19%	11%	8%	14%	15%	27%	14%	11%	11%	3%	20%	23%	0%	5%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA		BAJA

Tabla 13: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Los Cristales

ALTA	0%
MEDIA	44%
BAJA	56%
TOTAL	100%

Tabla 14: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Los Cristales

Gráfica 6: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Los Cristales



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	13
11 - 100	5
> 100	0
TOTAL	18

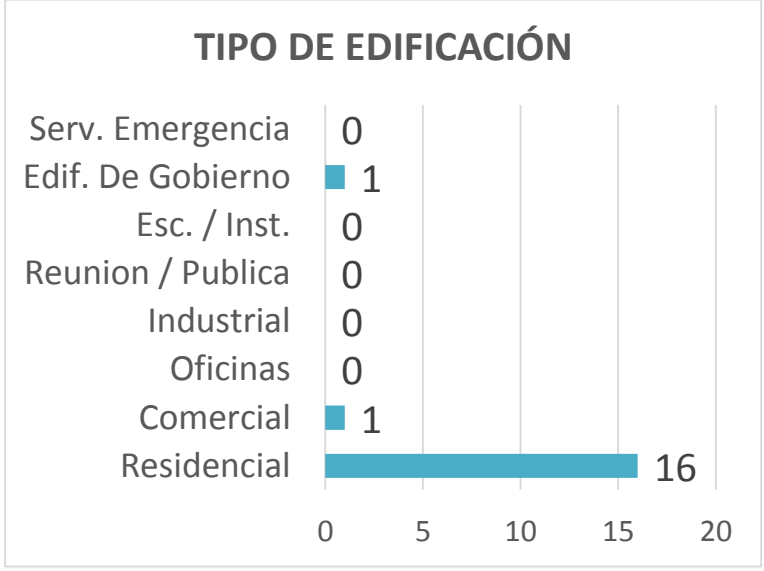
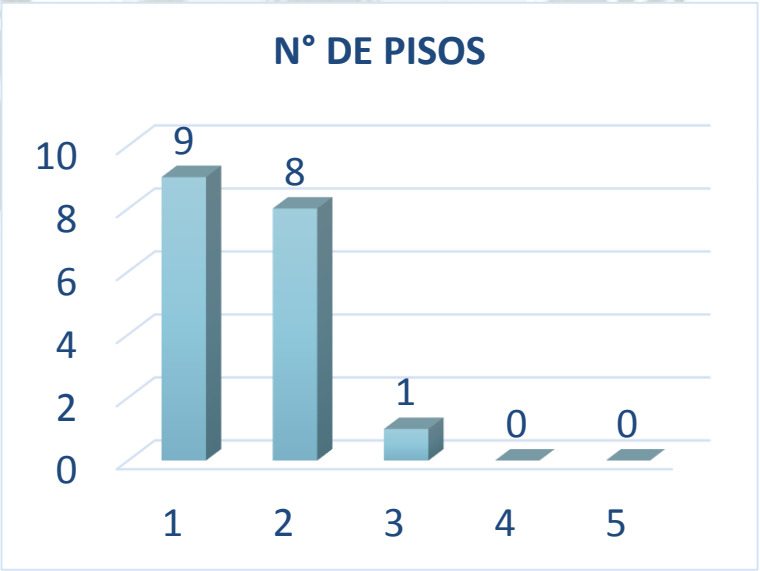
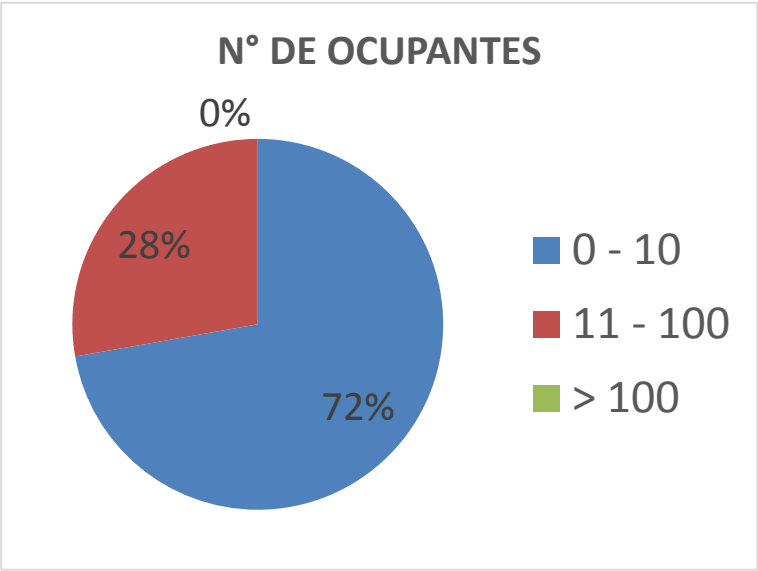
N° DE PISOS:	
1	9
2	8
3	1
4	0
5	0
TOTAL	18

TIPO	
Residencial	16
Comercial	1
Oficinas	0
Industrial	0
Reunión / Publica	0
Esc. / Inst.	0
Edif. De Gobierno	1
Serv. Emergencia	0
TOTAL	18

Tabla 15: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Cristales

Tabla 16: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Cristales

Tabla 17: Tipo de edificación de la Calle Los Cristales



Gráfica 7: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Los Cristales

Gráfica 8: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Los Cristales

Gráfica 9: Tipo de edificación de la Calle Los Cristales

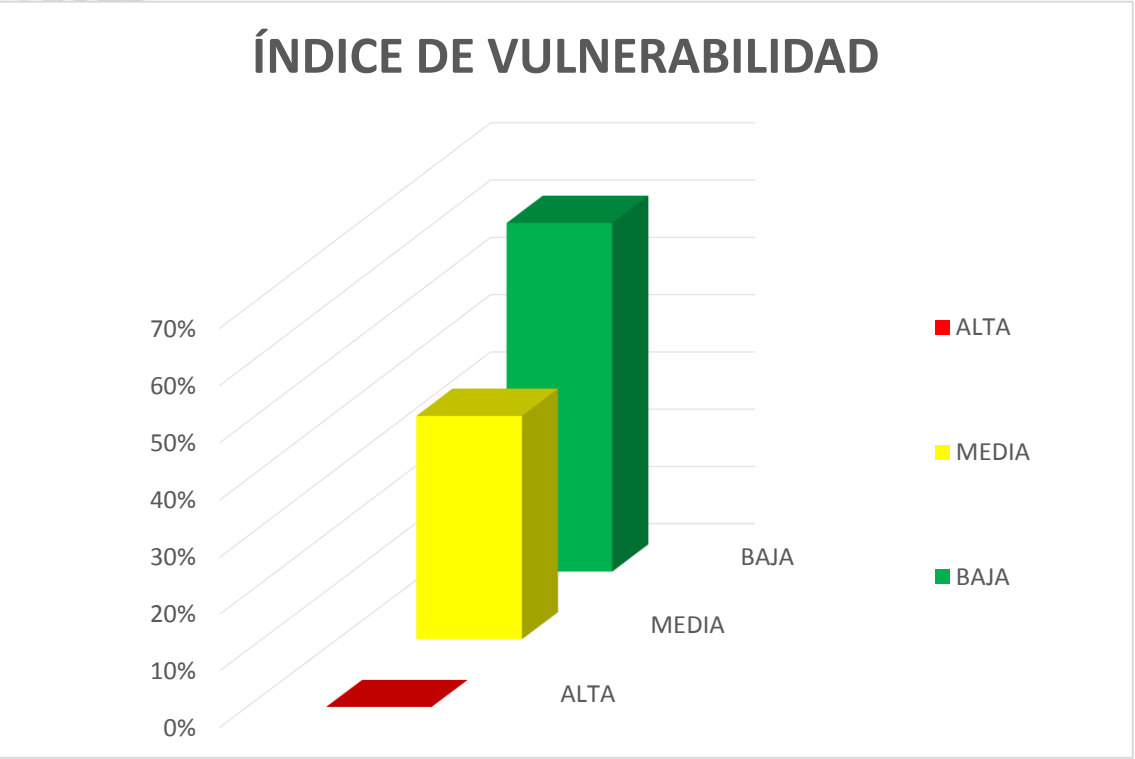
C- PASAJE BAYONETA																							
	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07/08	C-09	C-10	C-11	C-12	C-13/E-19	C-14/E-18	C-15	C-16	C-17	C-18/D-15	C-19/D-17	C-20	C-21/D-21	C-22	C-23	C-24	C-25
N° DE OCUPANTES:	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	11 - 100	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10
N° DE PISOS:	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2
TIPO DE EDIFICACIÓN:	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial
PARÁMETROS																							
Organización del sistema resistente	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C	B	C	C	A	B	C	C	B	C	N/A	B
Calidad del sistema resistente	C	C	C	B	C	C	C	C	C	C	C	B	B	C	C	B	C	C	C	B	C	N/A	B
Resistencia convencional	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	N/A	A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	N/A	B
Diafragmas horizontales	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	A	A	A	B	A	D	D	A	B	N/A	A
Configuración en planta	B	A	B	C	C	D	C	B	D	B	A	C	C	A	C	C	C	B	D	A	C	N/A	B
Configuración en elevación	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	B	A	A	B	B	A	A	A	A	N/A	A
Separación máxima entre muros	A	C	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	D	A	A	N/A	A
Tipo de cubierta	A	A	B	B	B	A	A	B	A	C	A	A	C	A	A	C	A	A	A	A	D	N/A	A
Elementos no estructurales	B	A	A	A	A	B	B	A	A	B	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	B	N/A	A
Estado de conservación	B	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	C	N/A	A
Iv:	37.5	41.25	52.5	52.5	71.25	57.5	57.5	65	42.5	62.5	35	47.5	65	35	47.5	53.75	32.5	78.75	108.75	10	117.5		12.5
Iv(%):	10%	11%	14%	14%	19%	15%	15%	17%	11%	16%	9%	12%	17%	9%	12%	14%	8%	21%	28%	3%	31%	0%	3%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA	MEDIA		BAJA

Tabla 18: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Bayoneta

ALTA	0%
MEDIA	39%
BAJA	61%
TOTAL	100%

Tabla 19: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Bayoneta

Gráfica 10: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Bayoneta



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	19
11 - 100	4
> 100	0
TOTAL	23

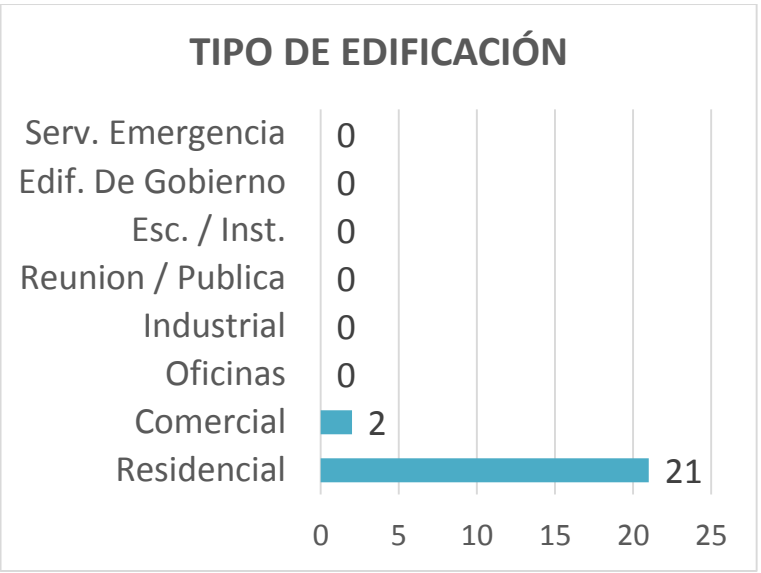
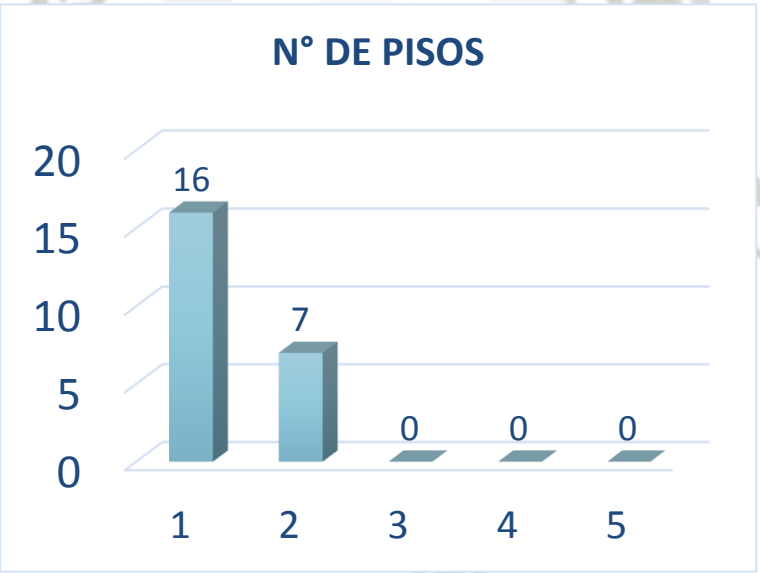
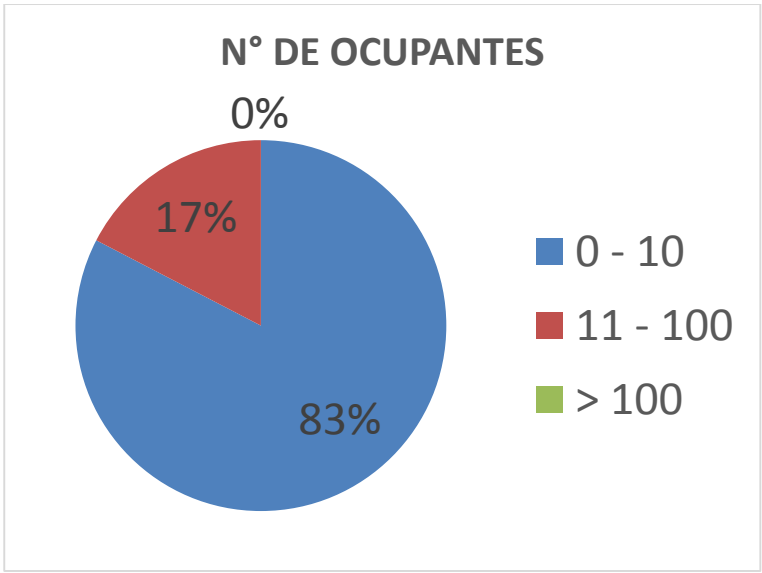
N° DE PISOS:	
1	16
2	7
3	0
4	0
5	0
TOTAL	23

TIPO	
Residencial	21
Comercial	2
Oficinas	0
Industrial	0
Reunion / Publica	0
Esc. / Inst.	0
Edif. De Gobierno	0
Serv. Emergencia	0
TOTAL	23

Tabla 20: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Bayoneta

Tabla 21: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Bayoneta

Tabla 22: Tipo de edificaciones del Pasaje Bayoneta



Gráfica 11: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Bayoneta

Gráfica 12: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Bayoneta

Gráfica 13: Tipo de edificación del Pasaje Bayoneta

D- PASAJE TEJADA

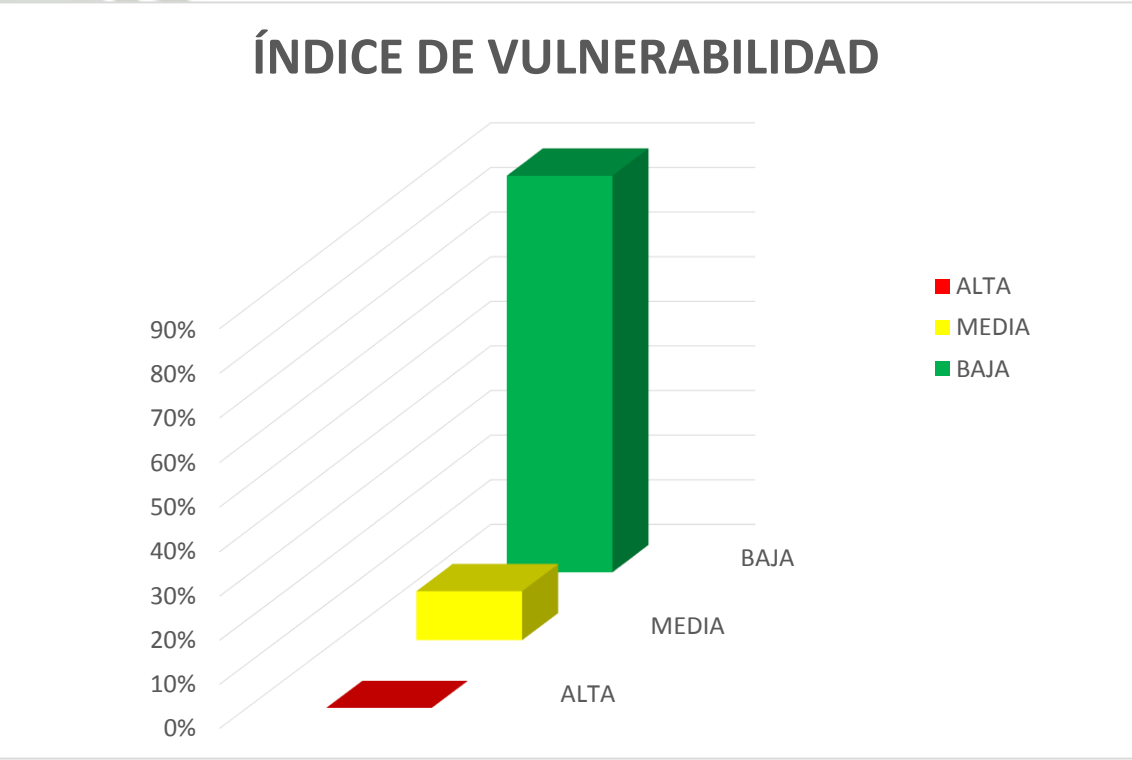
	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL																	
	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06	D-07	D-08	D-09	D-10/E-11	D-11/E-12	D-12	D-13	D-14	D-16	D-18	D-19	D-20
N° DE OCUPANTES:	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	11 - 100
N° DE PISOS:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TIPO DE EDIFICACIÓN:	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial
PARÁMETROS																		
Organización del sistema resistente	C	C	C	B	C	C	C	C	A	C	C	A	A	A	A	B	A	C
Calidad del sistema resistente	C	C	C	C	B	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
Resistencia convencional	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Diafragmas horizontales	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Configuración en planta	A	B	C	A	B	C	C	B	B	B	B	C	B	B	B	C	A	C
Configuración en elevación	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Separación máxima entre muros	B	B	A	A	B	C	B	A	B	B	C	B	A	A	A	A	B	A
Tipo de cubierta	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
Elementos no estructurales	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A
Estado de conservación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	B	B
Iv:	61.25	38.75	47.5	20	33.75	53.75	48.75	50	13.75	33.75	33.75	18.75	7.5	7.5	7.5	22.5	18.75	62.5
Iv(%):	16%	10%	12%	5%	9%	14%	13%	13%	4%	9%	9%	5%	2%	2%	2%	6%	5%	16%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA

Tabla 23: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Tejada

ALTA	0%
MEDIA	11%
BAJA	89%
TOTAL	100%

Tabla 24: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Tejada

Gráfica 14: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Tejada



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	15
11 - 100	3
> 100	0
TOTAL	18

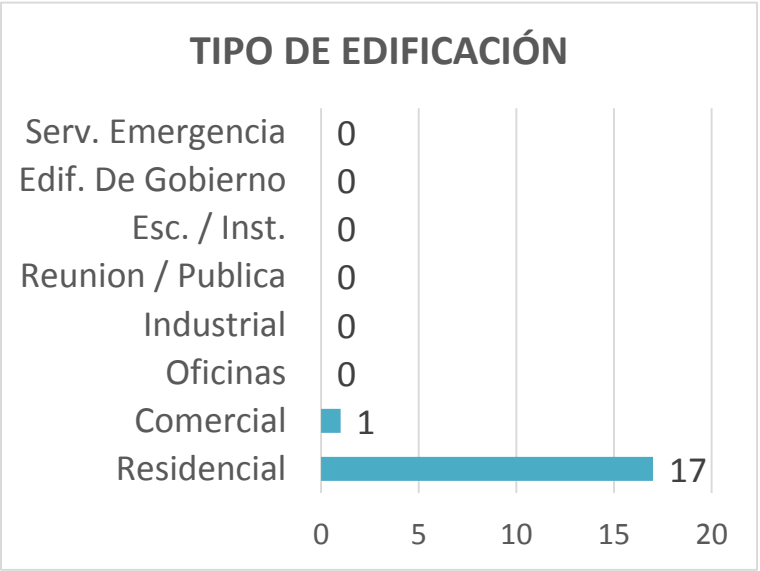
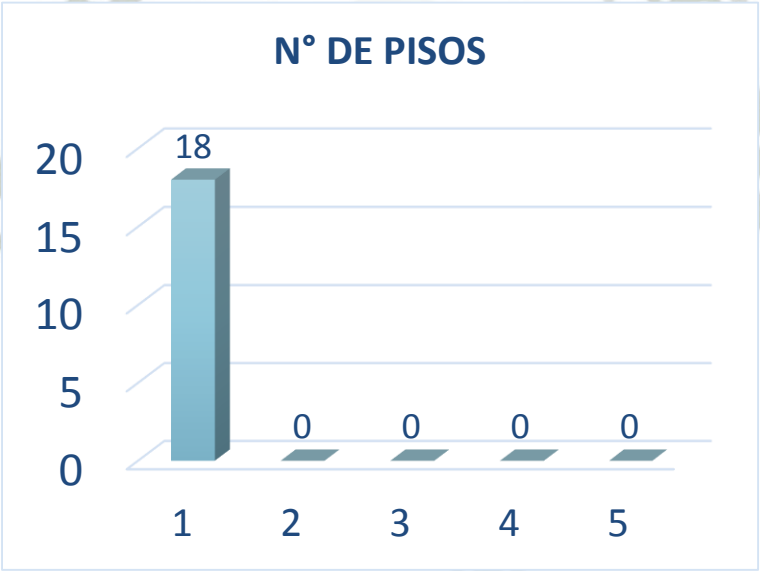
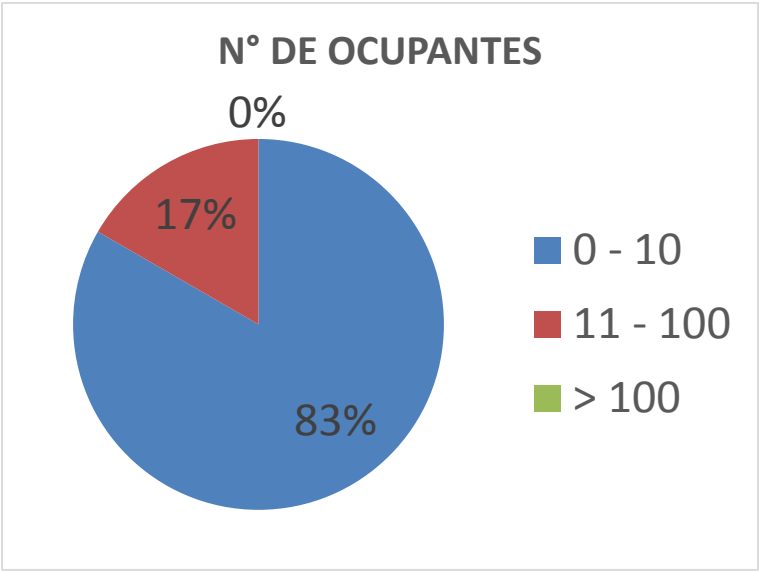
N° DE PISOS:	
1	18
2	0
3	0
4	0
5	0
TOTAL	18

TIPO	
Residencial	17
Comercial	1
Oficinas	0
Industrial	0
Reunion / Publica	0
Esc. / Inst.	0
Edif. De Gobierno	0
Serv. Emergencia	0
TOTAL	18

Tabla 25: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Tejada

Tabla 26: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Tejada

Tabla 27: Tipo de edificaciones del Pasaje Tejada



Gráfica 15: Número de ocupantes de las edificaciones del Pasaje Tejada

Gráfica 16: Número de pisos de las edificaciones del Pasaje Tejada

Gráfica 17: Tipo de edificación del Pasaje Tejada

E- CALLE DESAGUADERO

	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL														
	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07/08	E-09	E-10	E-13	E-14	E-15	E-16	E-17	E-20
N° DE OCUPANTES:	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100	0 - 10	0 - 10	11 - 100	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100
N° DE PISOS:	2	1	2	2	1	3	1	2	1	1	1	2	3	1	3
TIPO DE EDIFICACIÓN:	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Esc. / Inst.	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial
PARÁMETROS															
Organización del sistema resistente	B	A	B	B	C	B	C	B	C	C	B	A	B	C	A
Calidad del sistema resistente	B	B	B	C	B	A	C	C	C	C	B	B	B	B	B
Resistencia convencional	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Diafragmas horizontales	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A
Configuración en planta	B	C	D	C	C	D	B	D	C	B	C	A	B	C	D
Configuración en elevación	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Separación máxima entre muros	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C	A	B	A	A
Tipo de cubierta	A	A	B	A	A	B	B	A	B	B	A	A	A	A	A
Elementos no estructurales	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A
Estado de conservación	A	B	B	B	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A
Iv:	13.75	22.5	52.5	32.5	37.5	46.3	52.5	42.5	62.5	48.75	28.75	5	13.75	37.5	27.5
Iv(%):	4%	6%	14%	8%	10%	12%	14%	11%	16%	13%	8%	1%	4%	10%	7%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA

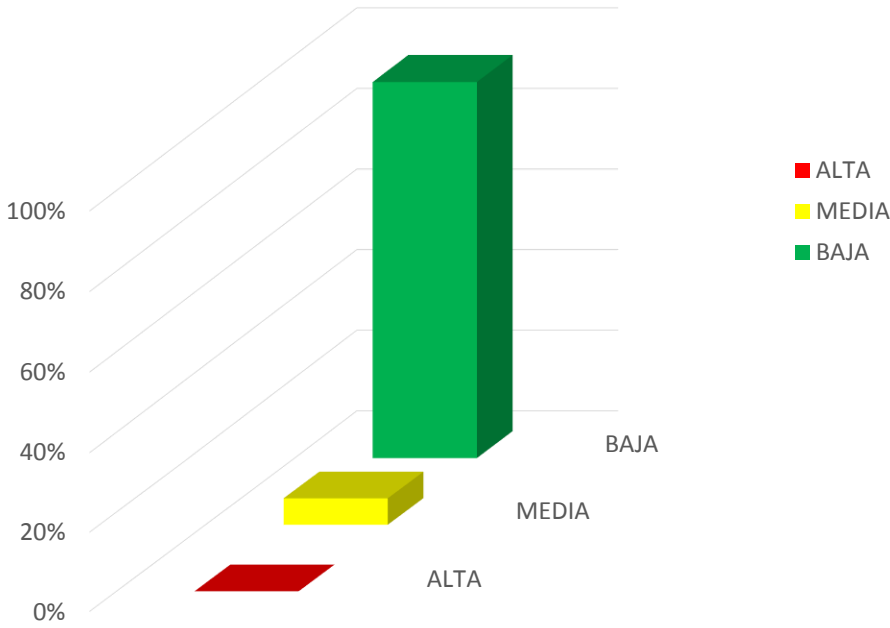
Tabla 28: Tabla resumen del análisis del Índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad de la Calle Desaguadero

ALTA	0%
MEDIA	7%
BAJA	93%
TOTAL	100%

Tabla 29: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en la Calle Desaguadero

Gráfica 18: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en la Calle Desaguadero

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	11
11 - 100	4
> 100	0
TOTAL	15

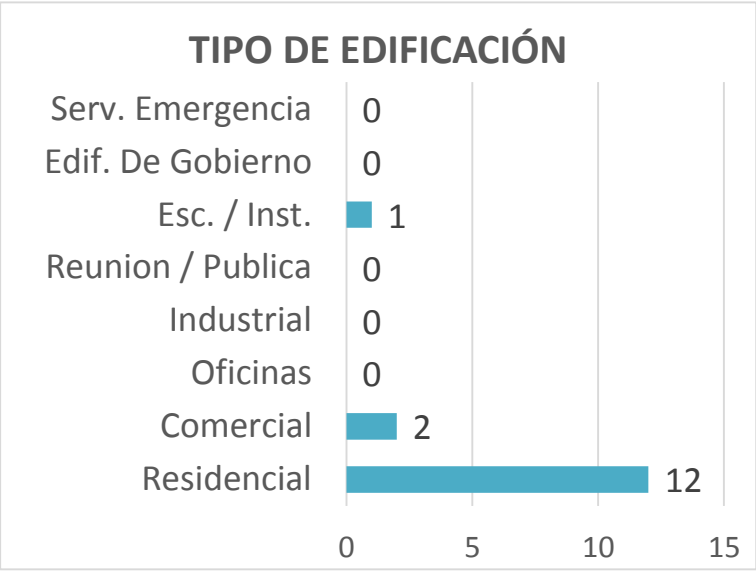
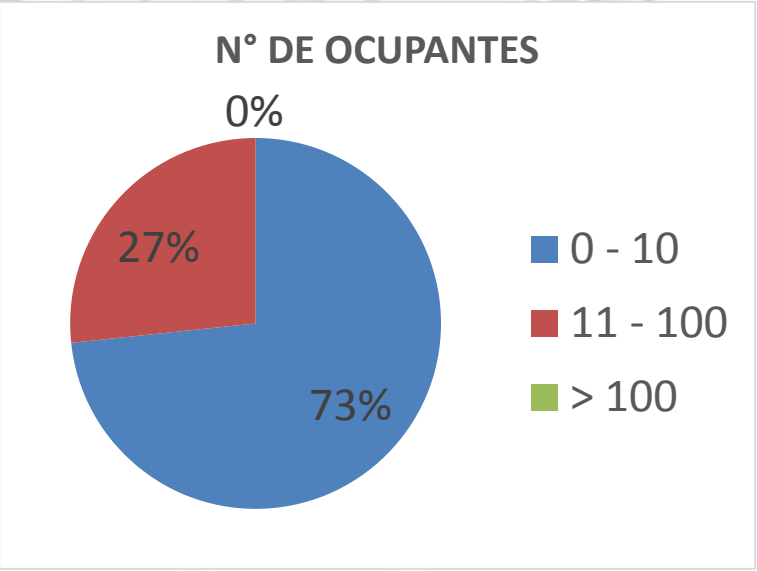
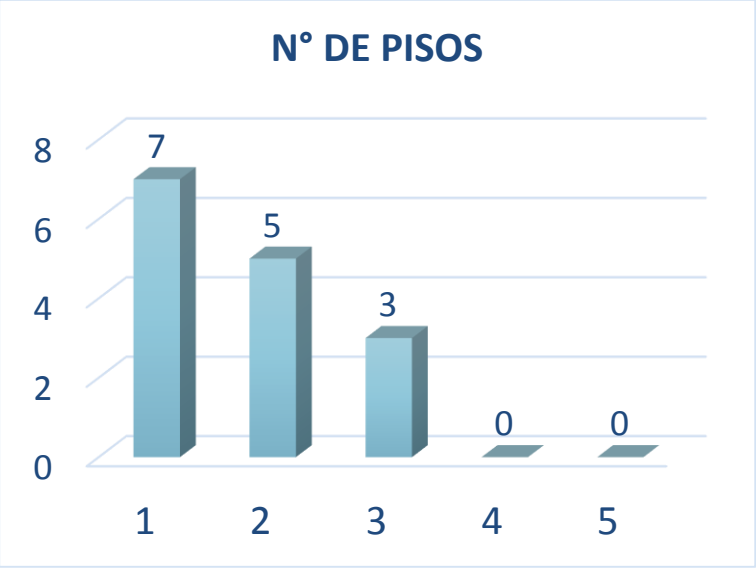
N° DE PISOS:	
1	7
2	5
3	3
4	0
5	0
TOTAL	15

TIPO	
Residencial	12
Comercial	2
Oficinas	0
Industrial	0
Reunión / Publica	0
Esc. / Inst.	1
Edif. De Gobierno	0
Serv. Emergencia	0
TOTAL	15

Tabla 30: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Desaguadero

Tabla 31: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Desaguadero

Tabla 32: Tipo de edificaciones de la Calle Desaguadero



Gráfica 19: Número de ocupantes de las edificaciones de la Calle Desaguadero

Gráfica 20: Número de pisos de las edificaciones de la Calle Desaguadero

Gráfica 21: Tipo de edificación de la Calle Desaguadero

F-PASAJE COMBATE NAVAL

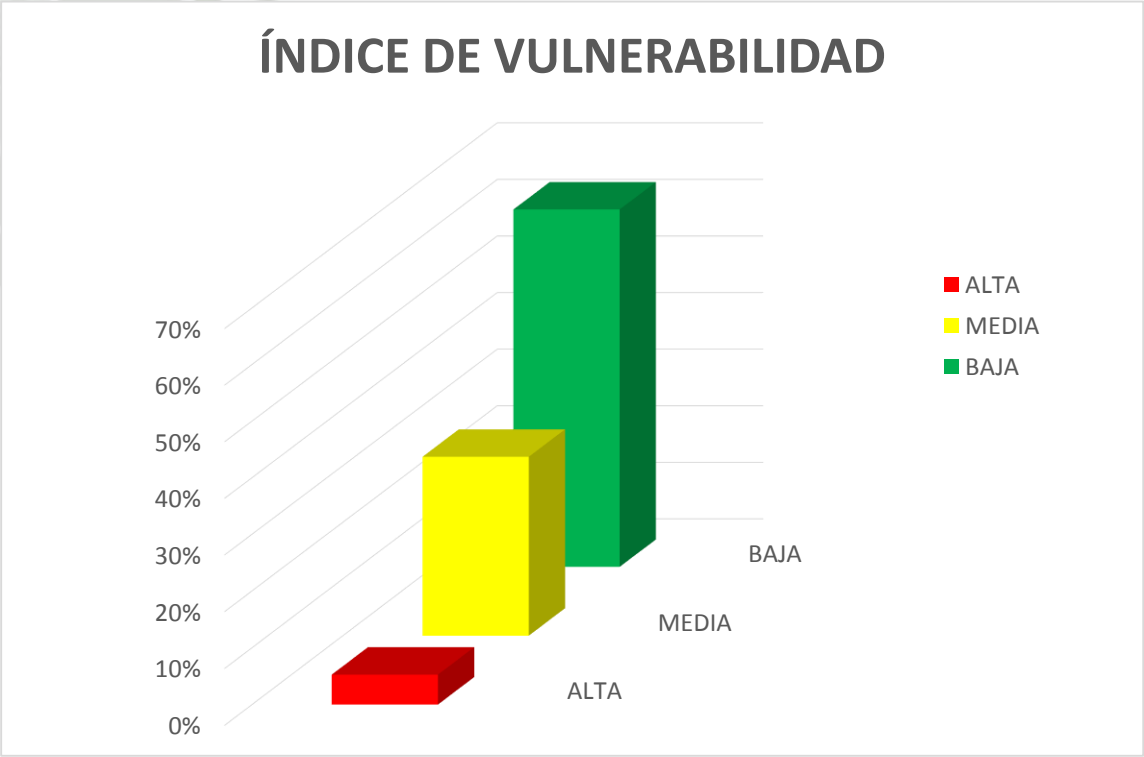
	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL																			
	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08	F-09	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16	F-17	F-18	F-19	F-20
N° DE OCUPANTES:	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	> 100	11 - 100	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	11 - 100
N° DE PISOS:	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	2	3	3	1	2	1	2	2	1	4
TIPO DE EDIFICACIÓN:	Reunion / Publica	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial	Esc. / Inst.	Esc. / Inst.	Residencial	Residencial	Residencial	Comercial	Residencial	Reunion / Publica
PARÁMETROS																				
Organización del sistema resistente	C	B	B	B	C	C	B	C	B	B	B	A	A	N/A	B	C	B	C	C	B
Calidad del sistema resistente	C	C	B	B	C	B	B	C	B	B	C	B	B	N/A	B	C	B	C	C	B
Resistencia convencional	A	C	A	A	A	A	C	D	A	A	A	A	A	N/A	B	A	A	A	A	A
Posición del edificio y cimentación	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	N/A	B	B	B	B	B	B
Diafragmas horizontales	B	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A	A	N/A	C	A	A	D	A	A
Configuración en planta	C	A	B	B	C	C	D	D	C	B	D	C	B	N/A	C	C	B	D	C	A
Configuración en elevación	A	A	A	A	A	A	B	D	B	A	A	A	A	N/A	A	A	B	B	A	B
Separación máxima entre muros	A	A	A	A	A	A	B	A	A	D	D	A	A	N/A	C	A	A	A	A	A
Tipo de cubierta	C	A	A	B	B	A	A	C	A	A	A	A	A	N/A	B	A	A	C	C	A
Elementos no estructurales	B	A	A	B	B	A	A	C	A	A	A	A	A	N/A	B	B	A	A	A	A
Estado de conservación	B	A	A	A	B	A	A	D	A	A	A	A	A	N/A	B	A	A	B	B	A
Iv:	77.5	52.5	12.5	27.5	62.5	37.5	76.25	286.25	27.5	23.75	48.75	17.5	7.5		71.25	42.5	17.5	132.5	72.5	15
Iv(%):	20%	14%	3%	7%	16%	10%	20%	75%	7%	6%	13%	5%	2%	0%	19%	11%	5%	35%	19%	4%
ESTADO DE LA VULNERABILIDAD	MEDIA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIA	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	X	MEDIA	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Tabla 33: Tabla resumen del análisis del índice de Vulnerabilidad y estado de Vulnerabilidad del Pasaje Combate Naval

ALTA	5%
MEDIA	32%
BAJA	63%
TOTAL	100%

Tabla 34: Distribución porcentual de la Vulnerabilidad en el Pasaje Combate Naval

Gráfica 22: Distribución porcentual del Estado de la Vulnerabilidad en el Pasaje Combate Naval



N° DE OCUPANTES:	
0 - 10	16
11 - 100	3
> 100	1
TOTAL	20

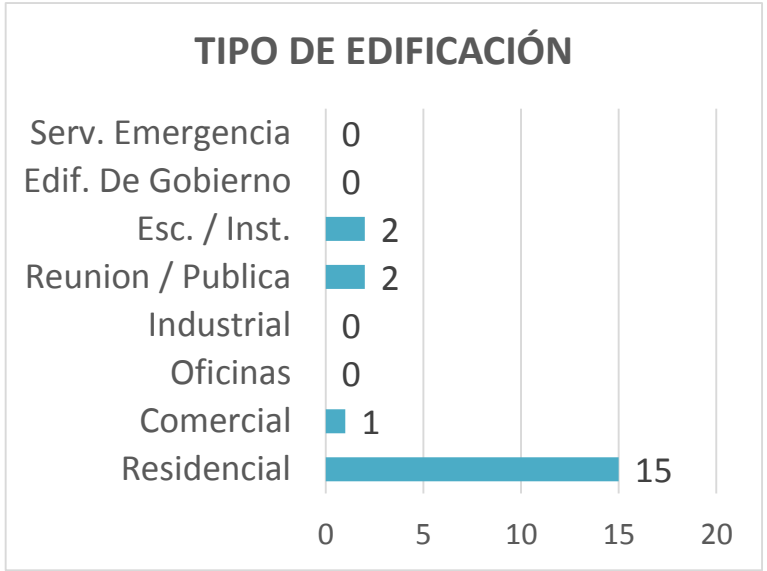
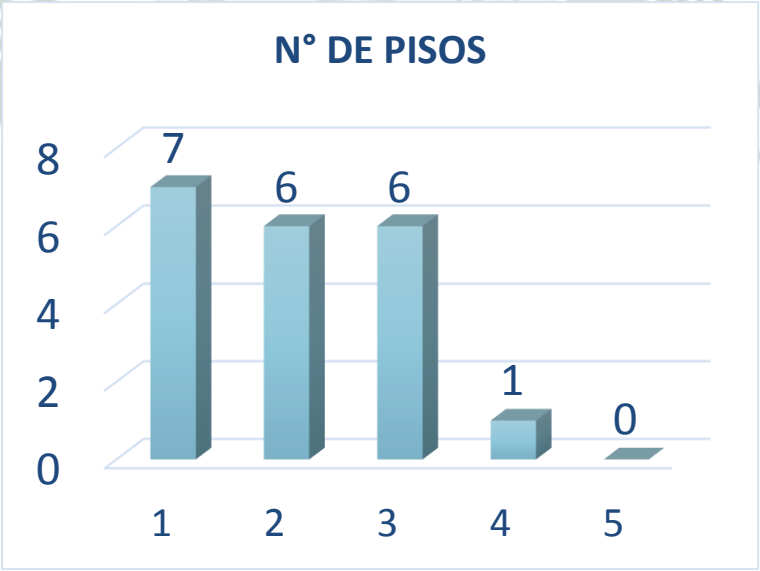
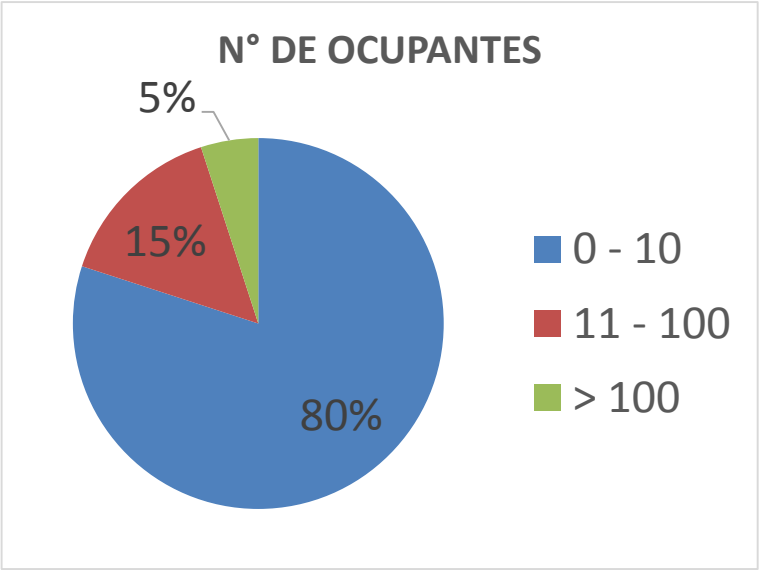
N° DE PISOS:	
1	7
2	6
3	6
4	1
5	0
TOTAL	20

TIPO	
Residencial	15
Comercial	1
Oficinas	0
Industrial	0
Reunión / Publica	2
Esc. / Inst.	2
Edif. De Gobierno	0
Serv. Emergencia	0
TOTAL	20

Tabla 35: Número de ocupantes de las edificaciones el Pasaje Combate Naval

Tabla 36: Número de pisos de las edificaciones el Pasaje Combate Naval

Tabla 37: Tipo de edificaciones el Pasaje Combate Naval



Gráfica 23: Número de ocupantes de las edificaciones el Pasaje Combate Naval

Gráfica 24: Número de pisos de las edificaciones el Pasaje Combate Naval

Gráfica 25: Tipo de edificación el Pasaje Combate Naval



CAPÍTULO V METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO

5.1 Funciones de vulnerabilidad

Las funciones de vulnerabilidad son relaciones gráficas o matemáticas que expresan en forma continua la relación media entre el daño y la intensidad del movimiento sísmico, por tipo de edificación. Estas relaciones pueden ser derivadas a partir del ajuste numérico de un conjunto de observaciones de daños para diferentes tipologías estructurales (vulnerabilidad observada) o generadas a través de un proceso de simulación numérica (vulnerabilidad calculada).

Una de sus principales variantes constituye las funciones de vulnerabilidad expresadas en términos del índice de vulnerabilidad. En este formato, la calificación de la vulnerabilidad de la estructura se hace a través del índice de vulnerabilidad, de manera que los niveles de daño esperados para un sismo determinado pueden ser correlacionados a través de las funciones de vulnerabilidad.

Las funciones de vulnerabilidad utilizadas en este estudio (figura 21) son curvas que definen el índice de daño esperado en función del índice de vulnerabilidad mediante la ecuación (5.3.1) ajustada para diferentes intensidades macrosísmicas (Yépez 1996, Mena 2002). Los valores de los coeficientes a_1 , a_2 y a_3 correspondientes a los edificios de mampostería no reforzada son los de la tabla 38.

$$D(\%) = a_1 * Iv + a_2 * Iv^2 + a_3 * Iv^3 \dots \text{Ec.5.3.1}$$

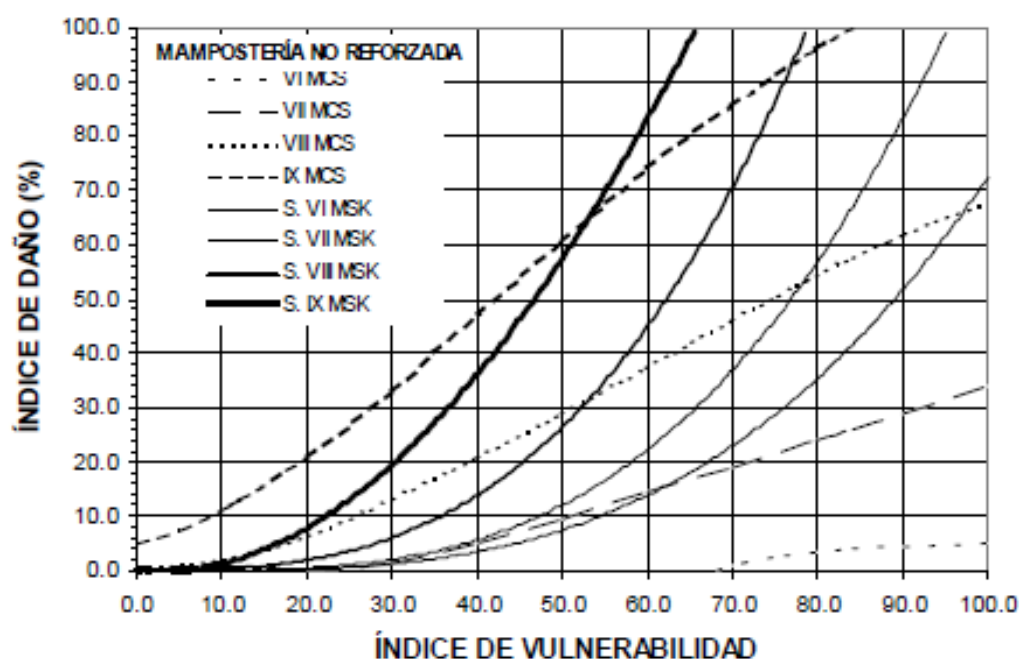


Figura 22: Funciones de vulnerabilidad simuladas para edificios de mampostería no reforzada (Barbat et al.1996), Yépez (1996). Las líneas discontinuas fueron propuestas por Angeletti et al. (1988)

Intensidad	a ₁	a ₂	a ₃	Correlación (%)
VI	0,0048	-0,0014	0,000086	80
VII	0,017	-0,0025	0,00014	89
VIII	-0,0047	0,0012	0,00019	88
IX	-0,15	0,028	-0,000039	91

Tabla 38: Coeficientes para edificios de mampostería no reforzada (Yépez 1996, Mena 2002)

5.2 Simulación de los parámetros del índice de daño

Según el modelo teórico de Abrams, las variables necesarias para estimar el posible comportamiento de la mampostería son el esfuerzo de compresión (f_a), la longitud total del panel (L), el espesor del panel (b), la altura del panel (h), el esfuerzo cortante por carga lateral (τ), la resistencia al cortante del panel (F_{vo}) y la

resistencia a la compresión del panel (f_a). A continuación se describe la forma en que se definieron algunas de estas variables.

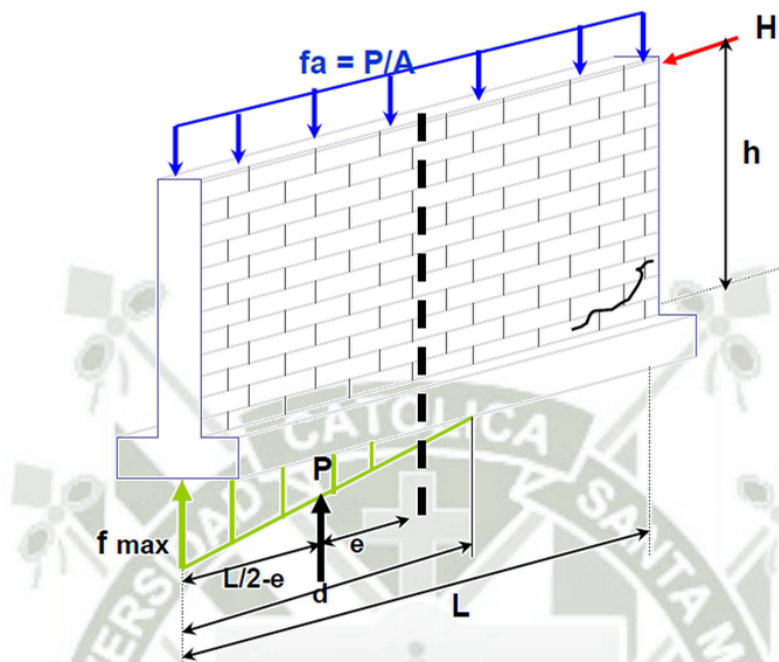


Figura 23: Muro representativo del modelo matemático de Abrams para mampostería no reforzada

Longitud unitaria del muro $L(m)$

En el modelo de daño de Abrams las longitudes son referidas a longitudes de muros, por lo cual se estableció una distribución modular simbólica de la edificaciones para calcular longitudes unitarias de los paneles o muros; con este fin se recurrió a los parámetros de área en planta A (m^2) y relación aspecto $\beta_1 = L_x/L_y$, del parámetro que analiza la configuración en planta del índice de vulnerabilidad, para establecer los criterios de número de vanos en las direcciones principales X y Y . Luego de instaurar el número de vanos en X y Y (V_x y V_y) se cuantificó el número de muros resistentes en las direcciones ortogonales X y Y (N_x y N_y). Posteriormente se hallaron las respectivas longitudes unitarias de los muros en las direcciones X y Y , calculadas tanto en el primer piso como para los pisos superiores teniendo en cuenta la irregularidades en altura y que las áreas de los muros resistentes de los pisos superiores pueden ser menor o mayor. De esta forma las longitudes unitarias de muros en el primer piso son:

$$Lu_x = \frac{A_x}{bN_x}$$

$$Lu_y = \frac{A_y}{bN_y}$$

Donde A_x y A_y son las áreas de muros resistentes en el primer piso en las respectivas direcciones X y Y, b es el espesor de los muros y N es el número de muros en las direcciones X y Y. De esta manera también se definieron las longitudes unitarias de muros en los pisos superiores, considerando un aumento o disminución de áreas de muros resistentes que se establece según el parámetro de irregularidad en altura del índice de vulnerabilidad.

Esfuerzo a compresión (f_a)

Siendo el esfuerzo a compresión una de las variables que interviene en la capacidad de carga lateral sobre el muro, es importante establecer la diferencia entre los muros interiores y exteriores.

Por consiguiente, en la evaluación del daño se realizó la diferencia entre paredes interiores y exteriores, debido a que el esfuerzo a compresión sobre las paredes exteriores se considera la mitad en comparación con las interiores

Luego, por medio de la siguiente ecuación se calculan los esfuerzos compresivos en los muros interiores y exteriores en las direcciones principales x y y en el piso respectivo:

$$f_a = \frac{P}{bLu}$$

Donde P es la fuerza sobre el muro interior o exterior del piso en consideración i en las direcciones ortogonal respectiva, b es el espesor del muro y Lu es la longitud unitaria de los muros del primer piso o de los pisos superiores.

Esfuerzo cortante por carga lateral (τ)

Se establece para cada muro por medio de la ecuación:

$$\tau = \frac{F_{1-n}}{A_{x,y,xs,ys}}$$

Donde F_{1-n} es la fuerza horizontal equivalente en el nivel de consideración n , y $A_{x,y,xs,ys}$ es el área de muros resistentes en las direcciones X y Y del primer piso (A_x, A_y) o de los pisos superiores (A_{xs}, A_{ys}).

Resistencia a la compresión (F_a)

La resistencia a la compresión de los muros se redujo, por efectos de esbeltez de los muros, de la forma:

$$F_a = 0.85 F_m R_e$$

Donde F_m es la resistencia a la compresión y R_e es coeficiente de reducción por esbeltez que depende de la altura del muro y el espesor.

Resistencia al cortante (F_v)

Es aceptable entender que la resistencia al cortante de los muros es mayor si posee columnas de confinamiento, por lo cual la resistencia al cortante calculado para la evaluación del índice de vulnerabilidad se modifica teniendo en cuenta el primer parámetro del índice de vulnerabilidad que se refiere al confinamiento de los muros en las diferentes plantas. Para la evaluación del daño se establece que si la edificación corresponde a mampostería con columnas y vigas de confinamiento en todas las plantas, se incrementa la resistencia al cortante 40 Ton/m² en los muros de todos los pisos, si clasifica como edificación en mampostería que posee vigas y columnas de confinamiento; pero no en todas las plantas se incrementa también la resistencia al cortante de los muros en 40 Ton/m², a excepción del último piso.

5.3 Resultados obtenidos

Se presentan los cuadros con los valores obtenidos en las distintas calles y pasajes, indicando el Índice de Vulnerabilidad y el grado de daño obtenido para las distintas intensidades sísmicas en la escala Modificada de Mercalli.



CALLE VIOLINES																		
INDICE DE DAÑO D (%)																		
	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05	A-06	A-07	A-08	A-09	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17	A-18
Iv:	51.25	78.75	63.75	62.5	110	45	35	15	30	30	30	41.25	47.5	37.5	37.5	10	10	
Iv (%):	13.40	20.59	16.67	16.34	28.76	11.76	9.15	3.92	7.84	7.84	7.84	10.78	12.42	9.80	9.80	2.61	2.61	0.00
INTENSIDADES:																		
VI	0.02	0.26	0.09	0.08	1.03	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
VII	0.12	0.51	0.24	0.22	1.75	0.08	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09	0.06	0.06	0.03	0.03	0.00
VIII	0.61	2.07	1.13	1.07	5.38	0.42	0.20	0.01	0.13	0.13	0.13	0.33	0.49	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00
IX	2.92	8.44	5.10	4.85	17.92	2.05	0.94	-0.16	0.53	0.53	0.53	1.59	2.38	1.18	1.18	-0.20	-0.20	0.00
*Todo valor negativo será considerado como 0																		

Tabla 39: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Violines

CALLE CRISTALES																		
INDICE DE DAÑO D (%)																		
	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09	B-10/C-01	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18/E-21
Iv:	67.5	66.25	63.75	86.25	73.75	43.75	30	55	56.25	105	53.75	43.75	43.75	12.5	77.5	88.75		17.5
Iv(%):	17.65	17.32	16.67	22.55	19.28	11.44	7.84	14.38	14.71	27.45	14.05	11.44	11.44	3.27	20.26	23.20	0.00	4.58
INTENSIDADES:																		
VI	0.12	0.11	0.09	0.38	0.19	0.00	-0.01	0.04	0.04	0.86	0.03	0.00	0.00	0.00	0.24	0.43	0.00	0.00
VII	0.29	0.27	0.24	0.72	0.40	0.08	0.05	0.14	0.15	1.48	0.13	0.08	0.08	0.03	0.48	0.80	0.00	0.04
VIII	1.33	1.27	1.13	2.68	1.72	0.39	0.13	0.75	0.79	4.71	0.70	0.39	0.39	0.00	1.98	2.91	0.00	0.02
IX	5.86	5.60	5.10	10.41	7.24	1.89	0.53	3.52	3.73	16.18	3.31	1.89	1.89	-0.19	8.13	11.11	0.00	-0.10
*Todo valor negativo será considerado como 0																		

Tabla 40: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Cristales

PASAJE BAYONETA																							
INDICE DE DAÑO D (%)																							
	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07/08	C-09	C-10	C-11	C-12	C-13/E-19	C-14/E-18	C-15	C-16	C-17	C-18/D-15	C-19/D-17	C-20	C-21/D-21	C-22	C-23	C-24	C-25
IV:	37.5	41.25	52.5	52.5	71.25	57.5	57.5	65	42.5	62.5	35	47.5	65	35	47.5	53.75	32.5	78.75	108.75	10	117.5	0	12.5
IV(%):	9.80	10.78	13.73	13.73	18.63	15.03	15.03	16.99	11.11	16.34	9.15	12.42	16.99	9.15	12.42	14.05	8.50	20.59	28.43	2.61	30.72	0.00	3.27
INTENSIDADES:																							
VI	-0.01	0.00	0.02	0.02	0.16	0.05	0.05	0.10	0.00	0.08	-0.01	0.01	0.10	0.01	0.01	0.03	-0.01	0.26	0.98	0.00	1.32	0.00	0.00
VII	0.06	0.07	0.12	0.12	0.35	0.17	0.17	0.25	0.07	0.22	0.05	0.09	0.25	0.05	0.09	0.13	0.05	0.51	1.68	0.03	2.22	0.00	0.03
VIII	0.25	0.33	0.65	0.65	1.56	0.85	0.85	1.20	0.36	1.07	0.20	0.49	1.20	0.20	0.49	0.70	0.16	2.07	5.20	0.00	6.50	0.00	0.00
IX	1.18	1.59	3.12	3.12	6.67	3.94	3.94	5.35	1.74	4.85	0.94	2.38	5.35	0.94	2.38	3.31	0.72	8.44	17.47	-0.20	20.68	0.00	-0.19
*Todo valor negativo será considerado como 0																							

Tabla 41: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Bayoneta

PASAJE TEJADA																			
INDICE DE DAÑO D (%)																			
	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06	D-07	D-08	D-09	D-10/E-11	D-11/E-12	D-12	D-13	D-14	D-16	D-18	D-19	D-20	
IV:	61.25	38.75	47.5	20	33.75	53.75	48.75	50	13.75	33.75	33.75	18.75	7.5	7.5	7.5	22.5	18.75	62.5	
IV(%):	16.01	10.13	12.42	5.23	8.82	14.05	12.75	13.07	3.59	8.82	8.82	4.90	1.96	1.96	1.96	5.88	4.90	16.34	
INTENSIDADES:																			
VI	0.07	-0.01	0.01	0.00	-0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	
VII	0.21	0.06	0.09	0.04	0.05	0.13	0.10	0.11	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.22	
VIII	1.01	0.27	0.49	0.04	0.18	0.70	0.53	0.57	0.01	0.18	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	1.07	
IX	4.62	1.31	2.38	-0.02	0.83	3.31	2.56	2.74	-0.18	0.83	0.83	-0.07	-0.19	-0.19	-0.19	0.08	-0.07	4.85	
*Todo valor negativo será considerado como 0																			

Tabla 42: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Tejada

CALLE DESAGUADERO															
ÍNDICE DE DAÑO D (%)															
	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05	E-06	E-07/08	E-09	E-10	E-13	E-14	E-15	E-16	E-17	E-20
lv:	13.75	22.5	52.5	32.5	37.5	46.25	52.5	42.5	62.5	48.75	28.75	5	13.75	37.5	27.5
lv. (%):	3.59	5.88	13.73	8.50	9.80	12.09	13.73	11.11	16.34	12.75	7.52	1.31	3.59	9.80	7.19
INTENSIDADES:															
VI	0.00	0.00	0.02	-0.01	-0.01	0.01	0.02	0.00	0.08	0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01
VII	0.04	0.04	0.12	0.05	0.06	0.09	0.12	0.07	0.22	0.10	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05
VIII	0.01	0.05	0.65	0.16	0.25	0.45	0.65	0.36	1.07	0.53	0.11	0.00	0.01	0.25	0.10
IX	-0.18	0.08	3.12	0.72	1.18	2.21	3.12	1.74	4.85	2.56	0.44	-0.15	-0.18	1.18	0.35
*Todo valor negativo será considerado como 0															

Tabla 43: Índices de daño en las edificaciones de la Calle Desaguadero

PASAJE COMBATE NAVAL																				
INDICE DE DAÑO D (%)																				
	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05	F-06	F-07	F-08	F-09	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16	F-17	F-18	F-19	F-20
lv:	77.5	52.5	12.5	27.5	62.5	37.5	76.25	286.25	27.5	23.75	48.75	17.5	7.5		71.25	42.5	17.5	132.5	72.5	15
lv.(%):	20.26	13.73	3.27	7.19	16.34	9.80	19.93	74.84	7.19	6.21	12.75	4.58	1.96	0.00	18.63	11.11	4.58	34.64	18.95	3.92
INTENSIDADES:																				
VI	0.24	0.02	0.00	-0.01	0.08	-0.01	0.22	28.56	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	2.06	0.17	0.00
VII	0.48	0.12	0.03	0.05	0.22	0.06	0.45	45.95	0.05	0.04	0.10	0.04	0.02	0.00	0.35	0.07	0.04	3.41	0.38	0.04
VIII	1.98	0.65	0.00	0.10	1.07	0.25	1.89	86.00	0.10	0.06	0.53	0.02	0.00	0.00	1.56	0.36	0.02	9.17	1.64	0.01
IX	8.13	3.12	-0.19	0.35	4.85	1.18	7.83	129.24	0.35	0.14	2.56	-0.10	-0.19	0.00	6.67	1.74	-0.10	26.78	6.95	-0.16
*Todo valor negativo será considerado como 0																				

Tabla 44: Índices de daño en las edificaciones del Pasaje Combate Naval



CAPÍTULO VI

MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO

6.1 Determinación de aceleraciones pico efectivas

Las aceleraciones consideradas provienen de las intensidades utilizadas para la determinación del índice de daño, las cuales se presentan en la Tabla 45

I(MM)	Rango Acel. (g)	Como se percibe la sacudida
VI	0,08 – 0,15	Fuerte
VII	0,15 – 0,30	Muy fuerte
VIII	0,30 – 0,60	Severamente
IX	0,60 – 1,20	Violentamente

Tabla 45: Rangos de aceleraciones de acuerdo a las escalas de intensidad (Wald et al., 1999)

6.2 Determinación de las matrices de probabilidad de daño para cada nivel de acción sísmica.

Las matrices de probabilidad de daño expresan en forma discreta, la probabilidad condicional de obtener un determinado nivel de daño, para cada tipo de estructura sujeta a un sismo con un determinado nivel de severidad (Braga et al., 1986). Para la representación de la severidad del movimiento, generalmente emplean parámetros de práctica interpretación como la intensidad macrosísmica o la aceleración pico del terreno. Para representar el daño, generalmente emplean alguna escala de los estados o grados de daños.

Entre los principales aportes destacan las MPD propuestas por el ATC (ATC-13, 1985), fundamentadas en la experiencia y juicio de reconocidos expertos, que cubren una amplia variedad de configuraciones estructurales. La severidad del movimiento se describe a través de la Intensidad de Mercalli Modificada (MM) para los grados comprendidos entre VI y XII. El daño se discrimina en 7 estados discretos asociados a un factor central de daño que se corresponde con diferentes estados de daño predefinidos.

ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0				
MINIMO	0-1	0.5				
LIGERO	1-10	5				
MODERADO	10-30	20				
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

Tabla 46: Forma general de las MPD propuesta por ATC-13(1985) – (Modificada por los autores de la tesis)

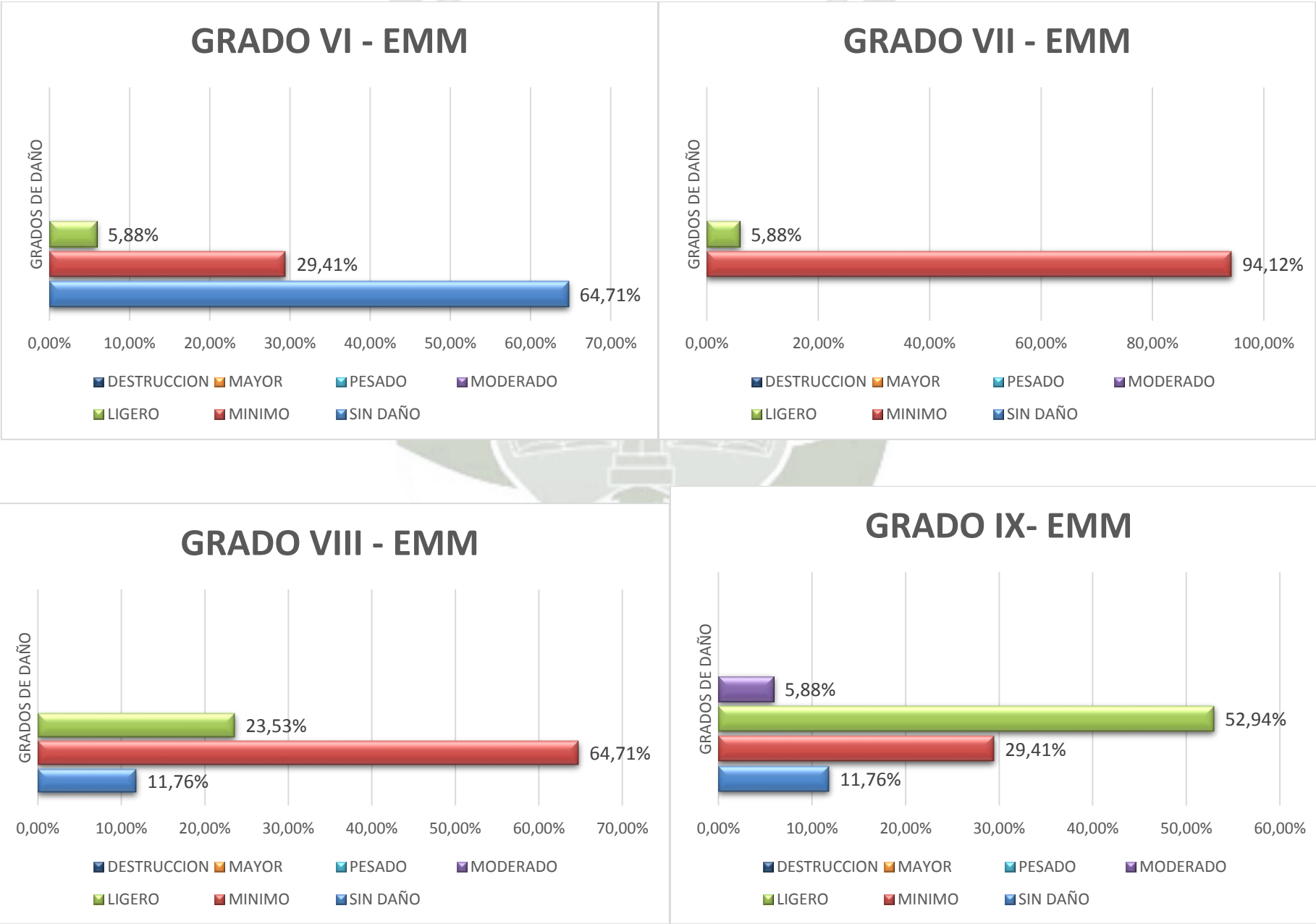
6.3 Aplicación de las funciones

Aplicando las funciones de vulnerabilidad y probabilidad de daño, elaboramos las respectivas matrices de probabilidad de daño, considerando una matriz por calle o pasaje y una matriz de daño global del barrio de San Lázaro.

A. Calle Violines

CALLE LOS VIOLINES						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	64.71%		11.76%	11.76%
MINIMO	0-1	0.5	29.41%	94.12%	64.71%	29.41%
LIGERO	1-10	5	5.88%	5.88%	23.53%	52.94%
MODERADO	10-30	20				5.88%
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

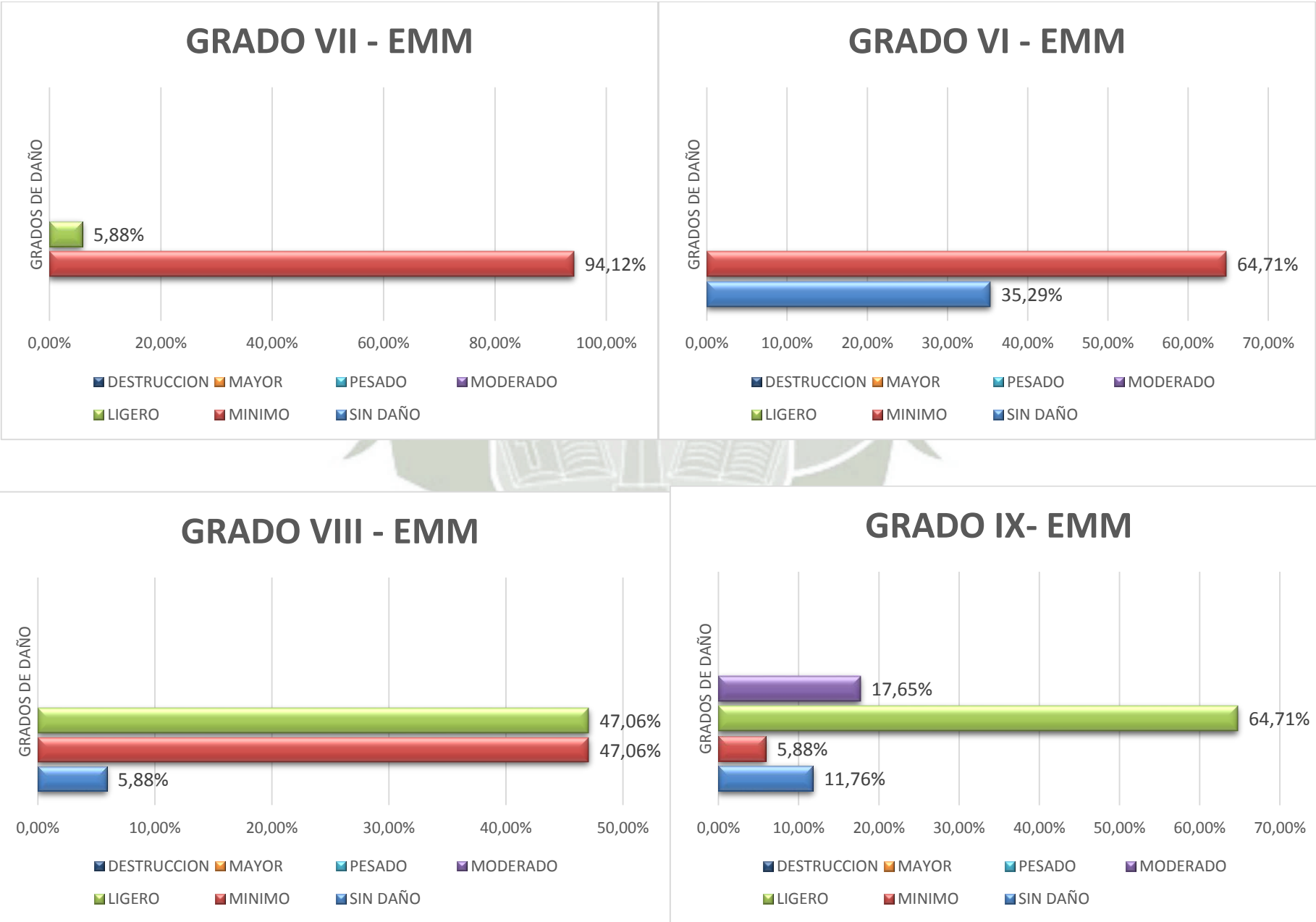
Tabla 47: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Los Violines



B. Calle Los Cristales

CALLE CRISTALES						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	35.29%		5.88%	11.76%
MINIMO	0-1	0.5	64.71%	94.12%	47.06%	5.88%
LIGERO	1-10	5		5.88%	47.06%	64.71%
MODERADO	10-30	20				17.65%
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

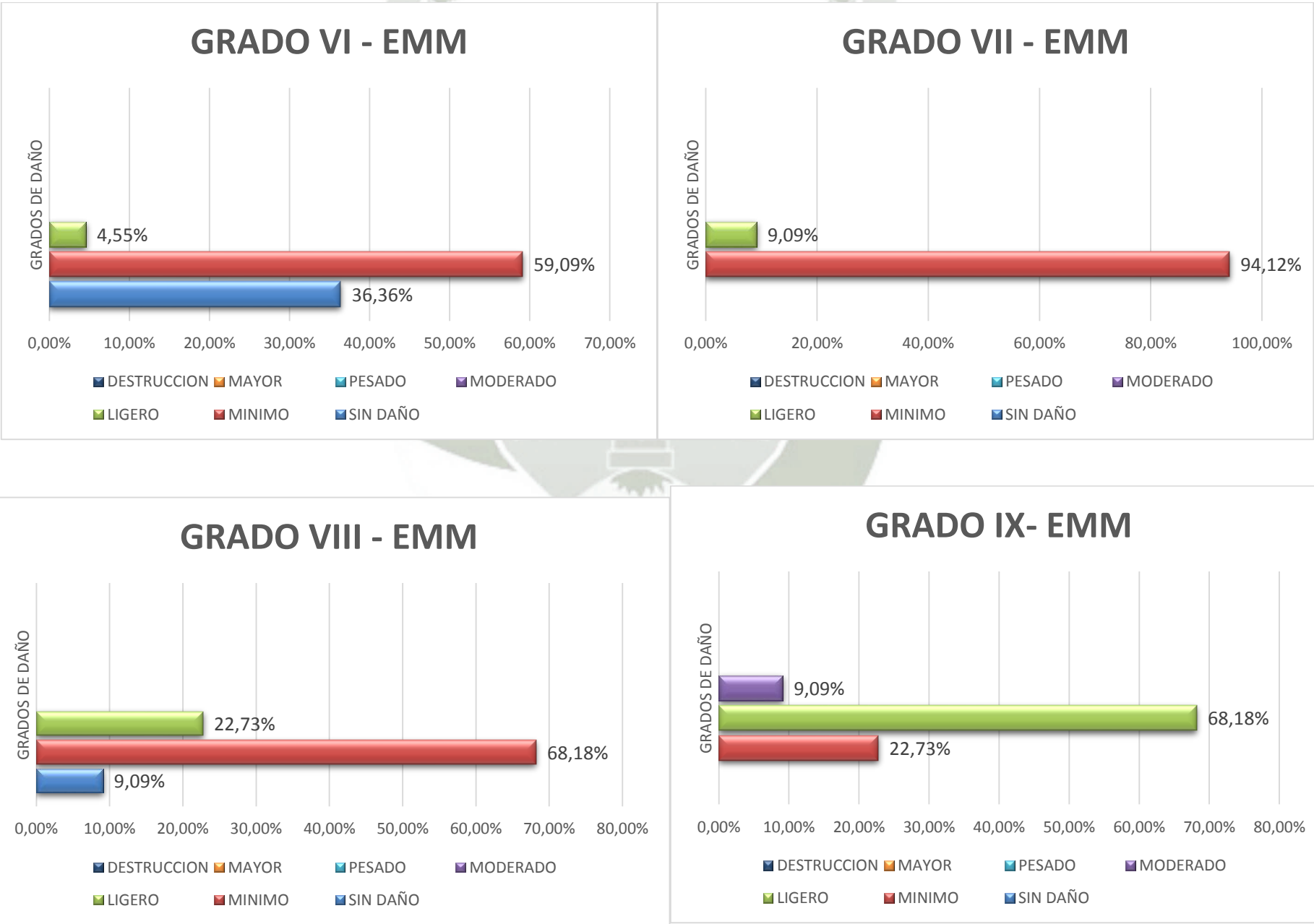
Tabla 48: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Los Cristales



C. Pasaje Bayoneta

PASAJE BAYONETA						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	36.36%		9.09%	
MINIMO	0-1	0.5	59.09%	90.91%	68.18%	22.73%
LIGERO	1-10	5	4.55%	9.09%	22.73%	68.18%
MODERADO	10-30	20				9.09%
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

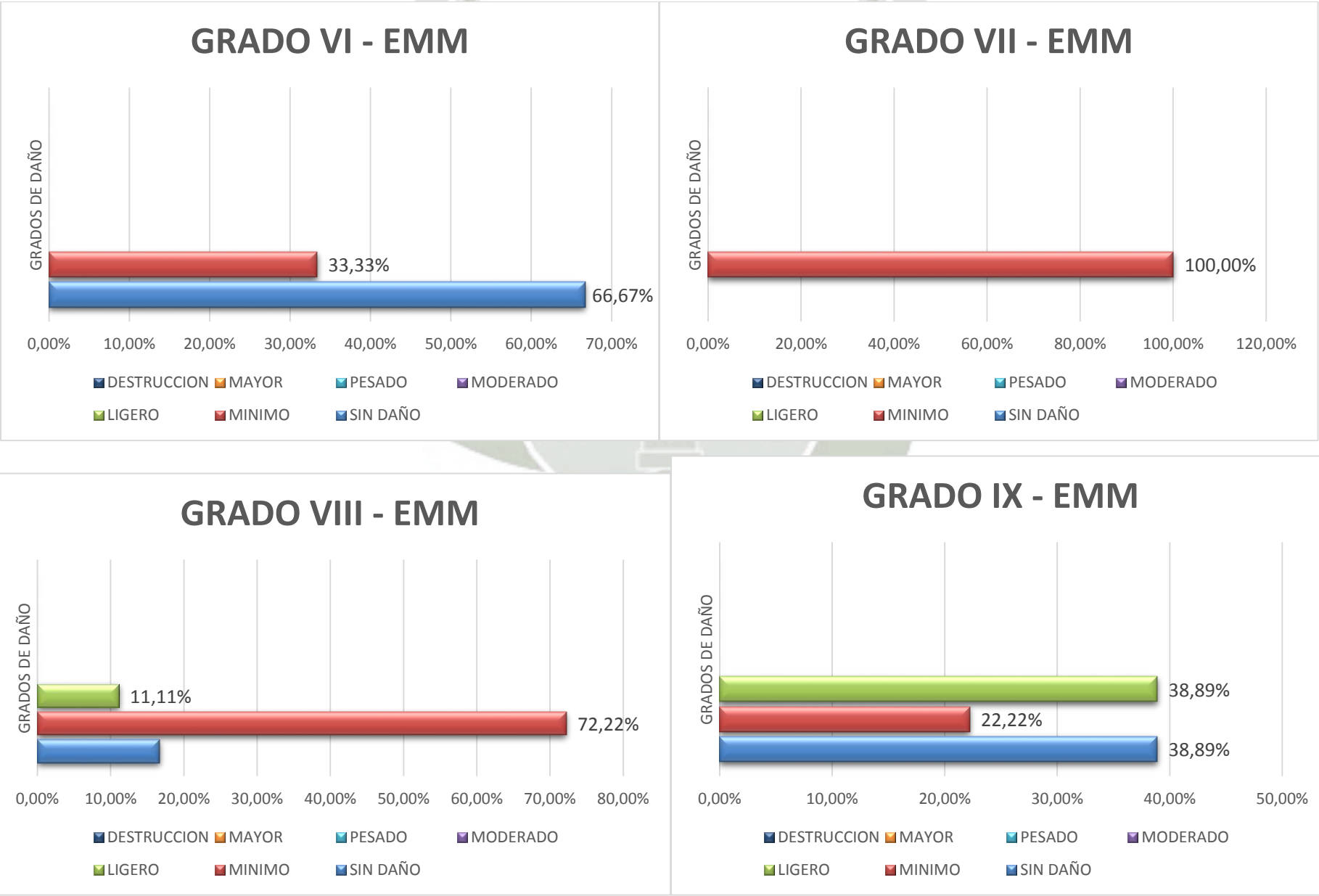
Tabla 49: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Bayoneta



D. Pasaje Tejada

PASAJE TEJADA						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	66.67%		16.67%	38.89%
MINIMO	0-1	0.5	33.33%	100.00%	72.22%	22.22%
LIGERO	1-10	5			11.11%	38.89%
MODERADO	10-30	20				
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

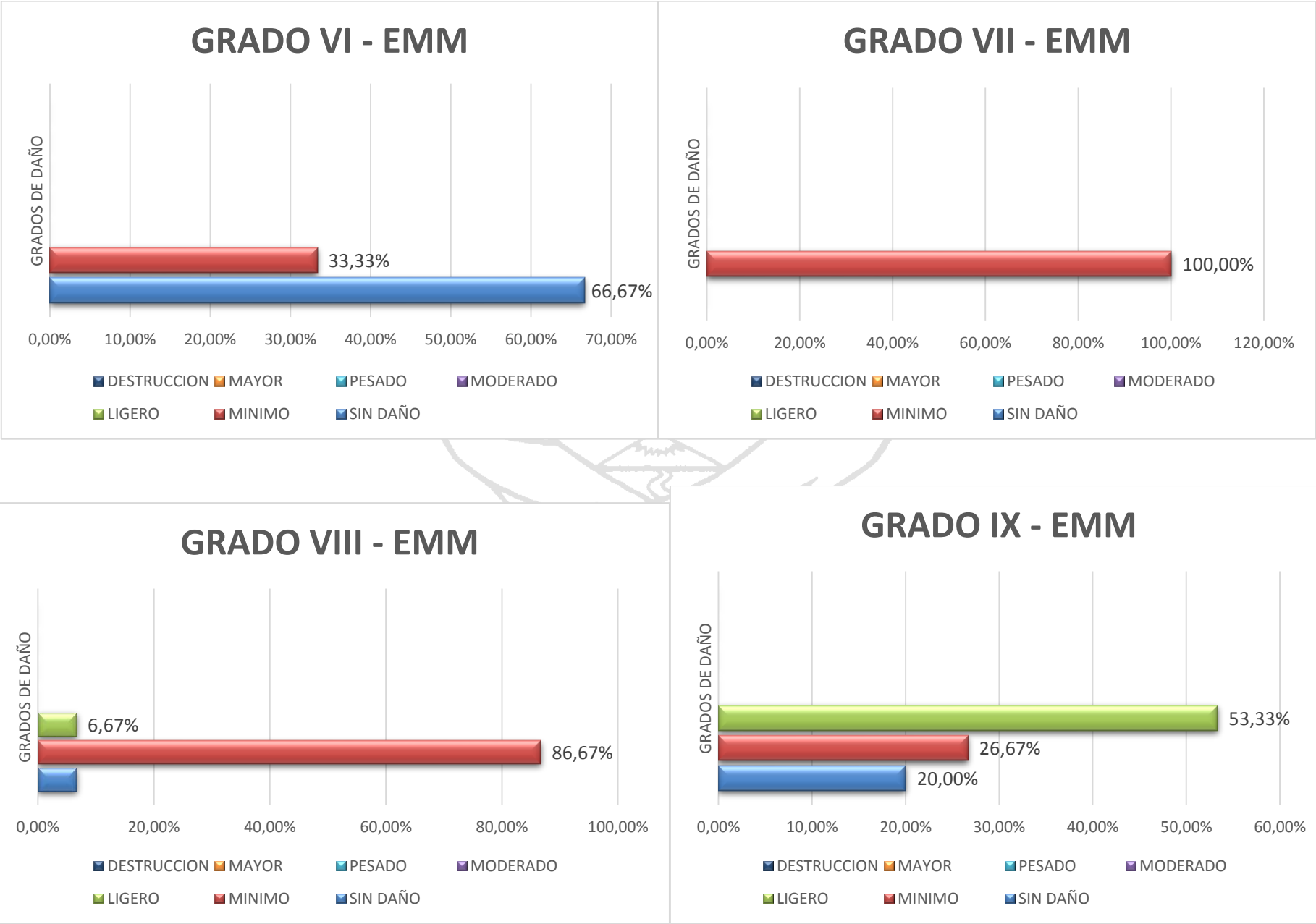
Tabla 50: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Tejada



E. Calle Desaguadero

CALLE DESAGUADERO						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	66.67%		6.67%	20.00%
MINIMO	0-1	0.5	33.33%	100.00%	86.67%	26.67%
LIGERO	1-10	5			6.67%	53.33%
MODERADO	10-30	20				
PESADO	30-60	45				
MAYOR	60-100	80				
DESTRUCCION	100	100				

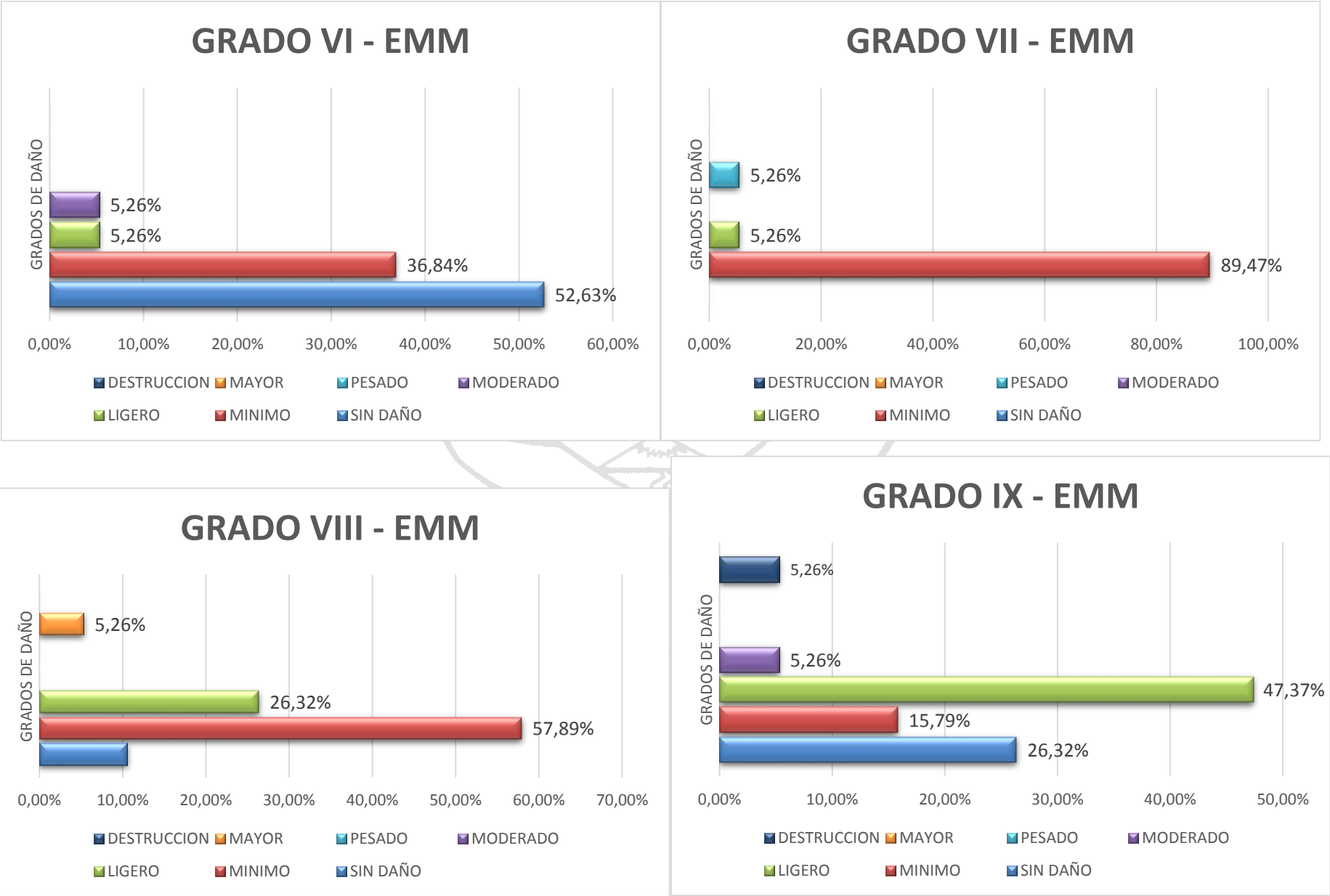
Tabla 51: Matriz de probabilidad de daño de la Calle Desaguadero



F. Pasaje Combate Naval

PASAJE COMBATE NAVAL						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	52.63%		10.53%	26.32%
MINIMO	0-1	0.5	36.84%	89.47%	57.89%	15.79%
LIGERO	1-10	5	5.26%	5.26%	26.32%	47.37%
MODERADO	10-30	20	5.26%			5.26%
PESADO	30-60	45		5.26%		
MAYOR	60-100	80			5.26%	
DESTRUCCION	100	100				5.26%

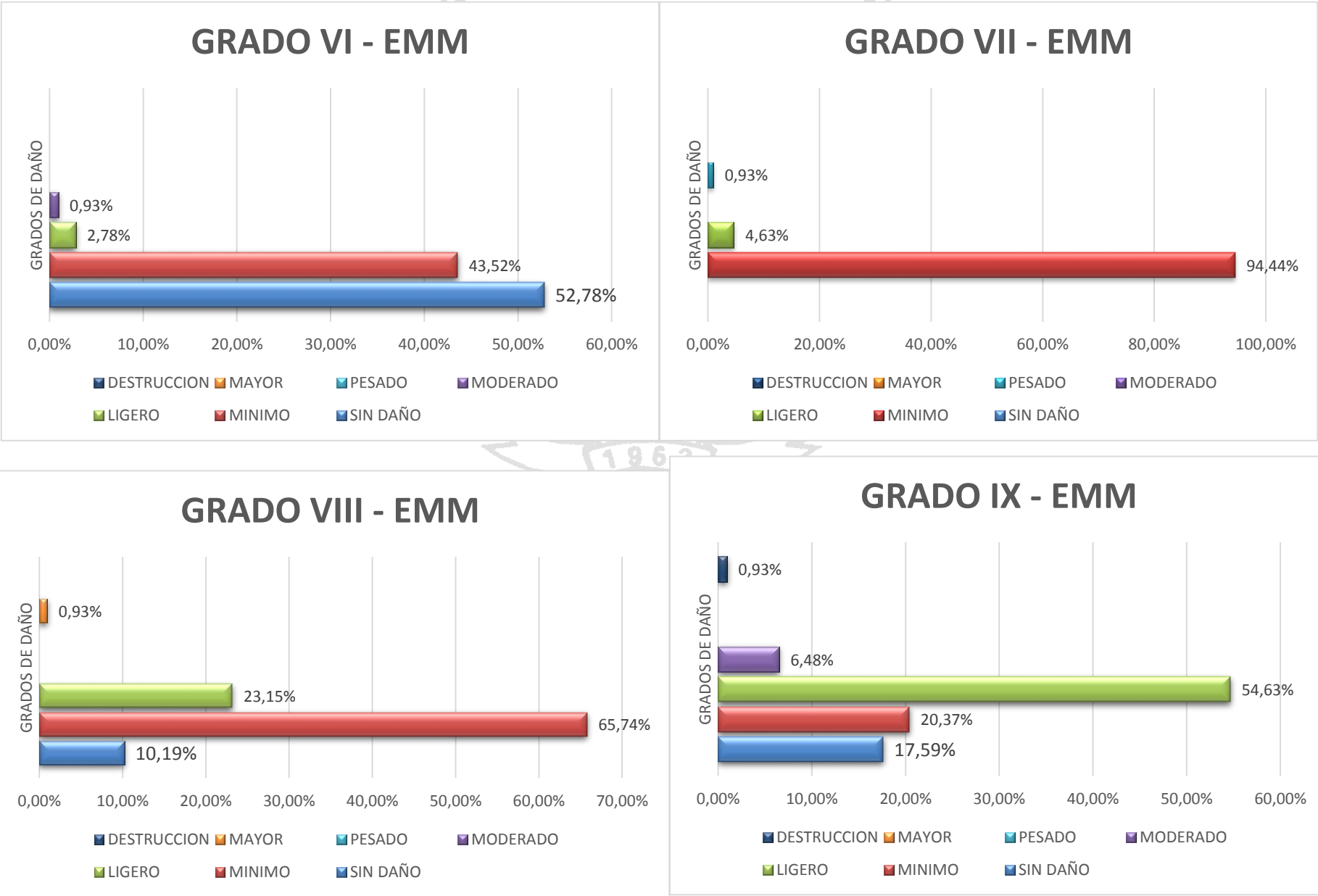
Tabla 52: Matriz de probabilidad de daño del Pasaje Combate Nava



A. Matriz global del Barrio de San Lázaro

BARRIO DE SAN LÁZARO						
ESTADO DE DAÑO	RANGO FACTOR DE DAÑO (%)	FACTOR CENTRAL DE DAÑO (%)	PROBABILIDAD DE DAÑO EN PORCENTAJE PARA C/IMM Y ESTADO DE DAÑO			
			VI	VII	VIII	IX
SIN DAÑO	0	0	52.78%		10.19%	17.59%
MINIMO	0-1	0.5	43.52%	94.44%	65.74%	20.37%
LIGERO	1-10	5	2.78%	4.63%	23.15%	54.63%
MODERADO	10-30	20	0.93%			6.48%
PESADO	30-60	45		0.93%		
MAYOR	60-100	80			0.93%	
DESTRUCCION	100	100				0.93%

Tabla 53: Matriz global de probabilidad de daño del Barrio San Lázaro





CAPÍTULO VII GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE DAÑO

7.1 Introducción

La generación de escenarios de daño nos permite organizar los datos números de tal forma que podamos identificar de una forma práctica y rápida los distintos rangos de vulnerabilidad sísmica, por medio de la elaboración de mapas.

Estos mapas permiten mostrar los escenarios de daño en la zona de estudio, con la cual se puede estimar las localizaciones y regiones con riesgo sísmico más alto, sitios con efectos locales del suelo más marcados, estructuras más vulnerables, dando una idea global del problema y sentando las bases para dar soluciones al mismo, mediante los planes de mitigación de riesgo sísmico

7.2 Zona de estudio

La zona estudiada corresponde al sector del Barrio de San Lázaro de la Ciudad de Arequipa, la muestra analizada consta de 6 calles en las cuales existen 94 edificaciones de mampostería no reforzada de sillar y 18 edificaciones de concreto armado con albañilería de ladrillo o sillar.

7.3 Procedimiento utilizado

El procedimiento utilizado en al sector del Barrio de San Lázaro de la Ciudad de Arequipa, consiste básicamente en tres fases.

1. Obtención de Datos: En esta fase se recoge toda la información que puede ser útil durante el proceso. Se obtiene un mapa del sector, que se encuentre digitalizado. Se visitan las edificaciones y se clasifican los 11 parámetros que consta el índice de vulnerabilidad para cada edificación

2. Proceso de Cálculo: En esta fase se efectúa el tratamiento de la información obtenida en la fase 1. Para la evaluación del parámetro 3 del índice de vulnerabilidad: resistencia convencional; las variables: áreas de muros resistentes, resistencia a la compresión y la resistencia al cortante se evaluaron según las viviendas representativas, y según el estudio realizado por el Ing. Lara.

En esta etapa el resultado final son los respectivos índices de vulnerabilidad para cada edificación.

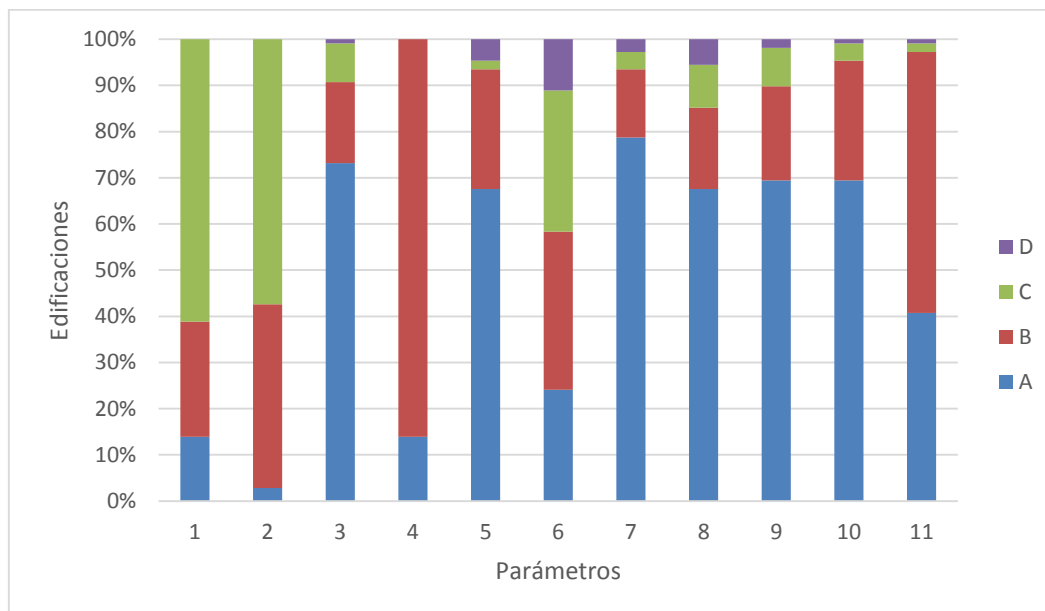


Tabla 54: Parámetros que constituyen la vulnerabilidad de la muestra

En la tabla 54 se muestran las calificaciones respectivas de cada edificación, con respecto a los parámetros del índice de vulnerabilidad, siendo útil para identificar los parámetros que mayor influencia tienen sobre la vulnerabilidad de los edificios.

En este caso podemos observar que los parámetros 1, 2 y 6 organización del sistema resistente, calidad del sistema resistente y configuración en planta son los más críticos.

Con estos índices se procede al cálculo de los índices de daño, resultados que al ordenarlos determinan las matrices de riesgo sísmico.

3. Montaje de la información en planos: En esta última fase se utilizan los planos, para mostrar resultados de la vulnerabilidad y los escenarios de daño.

7.4 Resultados obtenidos

El plano del **anexo C** muestra el plano general de vulnerabilidad de la zona de estudio, considerando tres rangos: alto, medio y bajo.

La importancia de definir esta escala es que permite una cierta selección de los edificios más vulnerables.

El anexo D muestra el plano de vulnerabilidad baja de la zona de estudio.

El anexo E muestra el plano de vulnerabilidad media de la zona de estudio.

El anexo F muestra el plano de vulnerabilidad alta de la zona de estudio.

El anexo G muestra el plano de daño para un sismo de intensidad MM VI de la zona de estudio.

El anexo H muestra el plano de daño para un sismo de intensidad MM VII de la zona de estudio.

El anexo I muestra el plano de daño para un sismo de intensidad MM VIII de la zona de estudio.

El anexo J muestra el plano de daño para un sismo de intensidad MM IX de la zona de estudio.

CONCLUSIONES

- Un 70.69% de las edificaciones del Barrio de San Lázaro muestran una vulnerabilidad baja, lo cual se puede comprobar al ver que las edificaciones que datan de los siglos XVIII y XIX, han resistido decenas de terremotos sin llegar a la destrucción total, concluyendo que el factor de este resultado es el espesor de muros.
- Se debe aclarar que en los modelos de evaluación de daño no se tuvo en cuenta un aspecto bastante desfavorable para la estructura como es el análisis del volcamiento fuera del plano de la pared, sino únicamente los efectos de flexo compresión y cortante en el plano de los muros. La no consideración de este comportamiento infiere una subestimación del daño que se provoca en las edificaciones de mampostería.
- Para efectos de la tesis se consideró un solo tipo de suelo tal como lo determina el estudio de microtrepidación sísmica de la zona.
- Los valores de índice de daño que están entre el rango de un índice de vulnerabilidad muy bajos nos brindan resultados negativos, lo cual nos permite saber que las estructuras en estos rangos de intensidad no presentan daños de consideración.
- En el caso de valores de índice de daño que van más allá del 100% denotan que la destrucción total se presenta antes de llegar a la intensidad mostrada.
- Los resultados obtenidos para cada estructura corresponden a una evaluación global de la estructura, lo que no descarta daños producto de deterioros puntuales, de fallas localizadas en una zona específica de la estructura.
- Las matrices de probabilidad de daño permiten conocer el daño que pueden alcanzar las edificaciones de mampostería sin reforzar para eventos de distintas intensidades sísmicas, que en nuestra investigación para una intensidad VI el mayor porcentaje presentan ningún daño alguno; para intensidades VII y VIII el mayor porcentaje presentan un daño mínimo; y para

una intensidad IX el mayor porcentaje presentan daño ligero. Esto no quiere decir que no tengamos edificaciones que llegarían a mayores estados de daño como al colapso total.

- Al ser un método económico, eficiente y eficaz para estudios de gran cantidad de edificaciones es mucho más conveniente que un modelado sísmico en programas especializados que requieren de fuertes sumas de dinero y de personal muy capacitado para brindar resultados un poco más precisos.
- Podemos observar que los parámetros 1, 2 y 6 organización del sistema resistente, calidad del sistema resistente y configuración en planta son los más críticos, por lo cual se debe dar mayor énfasis en solucionar los problemas encontrados bajo esos parámetros.
- El método requiere conocimientos fundamentales de estructuras, que junto a las instrucciones de evaluación nos permite que disminuya la subjetividad obteniendo resultados confiables; que a comparación de otros métodos nos permite realizar estudios de costos bajos, dando mayor eficiencia al método.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que este tipo de estudios de vulnerabilidad no sean aplicados a edificaciones de carácter esencial que deben seguir en funcionamiento después de un sismo, ya que estos requieren de una evaluación detallada evitando así posibles daños materiales y personales.
- Al considerar un método en el cual se utiliza una fórmula matemática, se deben realizar calibraciones de esta, de acuerdo a los nuevos datos obtenidos para que el rango de certeza sea mayor.
- Para complementar este tipo de investigación se recomienda el modelado computarizado de las estructuras más representativas, lo cual debería llevar a resultados que permitan contrarrestarse con los obtenidos y permita una medición de la eficiencia del método.
- Para poder obtener datos donde se identifiquen posibles daños puntuales en estructuras se recomienda la evaluación particular de las estructuras mediante software especializado.
- Se recomienda la evaluación detallada de las edificaciones con vulnerabilidad alta, y con vulnerabilidad media de altos valores, para que se busquen soluciones de reforzamiento estructural, siguiendo los parámetros del ICOMOS y las Cartas de Venecia que regulan las edificaciones históricas.
- Se recomienda el uso de este método para la evaluación del Centro Histórico de Arequipa y así tener un plano de Vulnerabilidad Sísmica y Escenarios de Daño como el entregado en este trabajo de investigación; lo cual creará conciencia en la población acerca de la situación en la que encuentran sus viviendas, negocios, etc.
- A manera de idea un proyecto futuro lo que se puede plantear es la adaptación de esta metodología a un sistema de información geográfico, de esta manera presentar los datos de una forma más ordenada como en estudios de postgrado.

- Dado a que el método del índice de Vulnerabilidad considera parámetros de países extranjeros, se propone la adecuación de cada parámetro con su respectiva calificación, de acuerdo a la realidad estructural de la zona de estudio, y según las características de las edificaciones. De esta forma la evaluación será más objetiva y entendible para todo aquel que determine realizarla.



BIBLIOGRAFÍA

BENEDETTI, D. Y PETRINI, V. (1984). Sulla vulnerabilità Sismica Di Edifici In Muratura: Proposte Di Un Método Di Valutazione, L'industria Delle Costruzioni, 149, 66-78, Roma – Italia

CABALLERO GUERRERO, ALVARO RAFAEL. (2007) Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. Fundación universidad del norte. Sincelejo.

CALVI G.M., PINHO R., MAGENES G., BOMMER J.J., RESTREPO-VÉLEZ L.F. AND 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.

DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS Y EDIFICACIONES PRIVADAS: CATASTRO (1999), Plano básico Arequipa. Gobierno Regional de Arequipa. Arequipa – Perú.

FEMA 154 (2002). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook. Segunda Edición. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL. Redwood City, California – USA.

HURTADO ORTIZ, VERONICA JOHANA - LEÓN MEZA, ALBA CAROLINA. (2008) Implementación del modelo de índice de vulnerabilidad ajustado a una edificación histórica con estructura de varios materiales. Tesis de Graduación. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

ICOMOS (1931), “La Carta de Atenas para la restauración de monumentos históricos”, ICOMOS.

ICOMOS (2003a), "Principios para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico", ICOMOS.

LOZANO, OLGA. (2011). "Preparación ante desastre sísmico y/o tsunami y recuperación temprana en Lima y Callao" Proyecto INDECI-PNUD-.ECHO. Lima-Perú.

MALDONADO RONDÓN ESPERANZA, JASBÓN CARVAJAL, NEYID MAURICIO, CHIO CHO GUSTAVO (2010). Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado. Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga - Colombia.

MALDONADO, E. y CHIO, G. (2007) Visión estructural de las edificaciones de la ciudad de Bucaramanga. Bucaramanga: Ediciones Universidad Industrial de Santander.

MENA HERNÁNDEZ, ULISES. (2002) Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Tesis de doctorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Cataluña - España.

OLARTE J., PROAÑO R., SCALETTI H., TORRES M., ZAVALA C. (2001). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Catedral del Cusco. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.

PAREDES NUÑEZ, JULIO ERNESTO. (2008). Manual de la Investigación Científica. Séptima edición. Universidad Católica de Santa María Escuela de Postgrado. Arequipa Perú.

PÉREZ PÉREZ, EDWIN FERNANDO. (2005). Análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural del Barrio San Antonio en la zona 6 de la Ciudad de Guatemala. Trabajo

de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala.

ROCA A., IRIZARRY J., LANTADA N., BARBAT A., X. GOULA X., PUJADES L.I.,
SUSAGNA T. (2006). Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad y
el Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona. Física de la Tierra N° 18,
pp. 183-203. Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña – España.



ANEXOS

ANEXO A
FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA
PROPUESTO POR BENEDETTI Y PETRINI

 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ESTADOS DE DAÑO EN MONUMENTOS HISTÓRICOS DE SILLAR EN EL BARRIO DE SAN LÁZARO - AREQUIPA"									
FORMULARIO DE EVALUACIÓN DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI Y PETRINI									
DIRECCIÓN:					CODIFICACIÓN:				
N° DE PISOS:					ÁREA EN m ² :				
USO ORIGINAL:					FECHA DE INSPECCIÓN:				
INSPECTOR:									
N° DE OCUPANTES:		ESQUEMA							
0 - 10 11 - 100 > 100									
TIPO									
Residencial Comercial Oficinas Industrial Reunion / Publica Esc. / Inst. Edif. De Gobierno Serv. Emergencia									
VULNERABILIDAD		CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN							
				Favorable ----->> Desfavorable					
		PARÁMETROS		KiA	KiB	KiC	KiD	Wi	Ki*Wi
BAJA $I_v < 15\%$ MEDIA $15\% \leq I_v < 35\%$ ALTA $I_v \geq 35\%$	Organización del sistema resistente	0	0	5	20	45	1.00	-	
	Calidad del sistema resistente	0	0	5	25	45	0.25	-	
	Resistencia convencional	0	0	5	25	45	1.50	-	
	Posición del edificio y cimentación	0	0	5	25	45	0.75	-	
	Diafragmas horizontales	0	0	5	15	45	1.00	-	
	Configuración en planta	0	0	5	25	45	0.50	-	
	Configuración en elevación	0	0	5	25	45	1.00	-	
	Separación máxima entre muros	0	0	5	25	45	0.25	-	
	Tipo de cubierta	0	0	15	25	45	1.00	-	
	Elementos no estructurales	0	0	0	25	45	0.25	-	
	Estado de conservación	0	0	5	25	45	1.00	-	
	Calificación final:								Iv:
								Iv(%):	0%
VULNERABILIDAD BAJA									
OBSERVACIONES ADICIONALES:					SE SUGIERE EVALUACIÓN DETALLADA				
					SI		NO		
132									



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ESTADOS DE DAÑO EN MONUMENTOS HISTÓRICOS DE SILLAR EN EL BARRIO DE SAN LÁZARO - AREQUIPA"

FORMULARIO DE EVALUACIÓN - ANÁLISIS CUANTITATIVO

Organización del sistema resistente		
Calidad del sistema resistente		
Resistencia convencional		
Area total de la estructura (At):		m ²
Altura media de la edificación (H):		m
Peso específico de la mampostería:		Ton/m ²
Posición del edificio y cimentación		
Diafragmas horizontales		
Configuración en planta		
a/L		
b/L		
Configuración en elevación		
T/H		
±ΔM/M		
Separación máxima entre muros		
L/S		
Tipo de cubierta		
Elementos no estructurales		
Estado de conservación		



ANEXO B

PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO C

**PLANO GENERAL DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL DE LA
ZONA**

ANEXO D

PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL BAJO

ANEXO E

PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL MEDIO

ANEXO F

PLANO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL NIVEL ALTO



ANEXO G

PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE VI MM





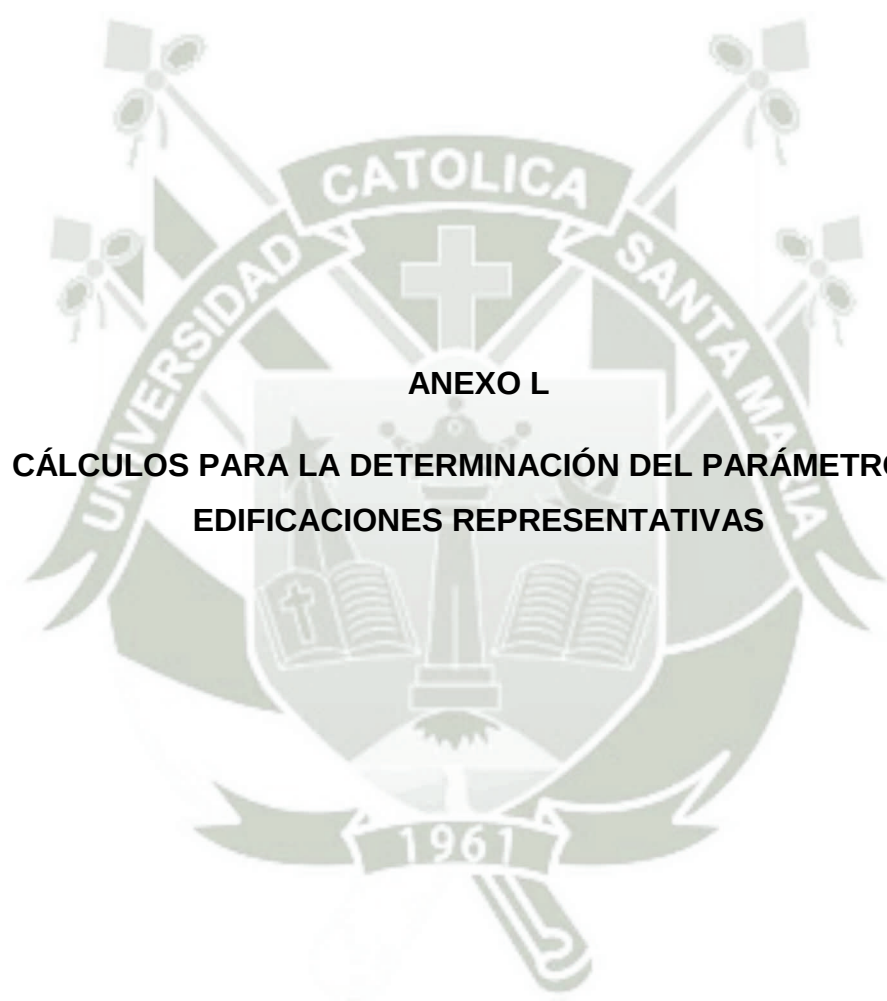


ANEXO J

PLANO DE DAÑO PARA UN SISMO DE MAGNITUD DE IX MM

ANEXO K

**FORMULARIOS DE EVALUACIÓN DE CADA UNA DE LAS EDIFICACIONES
DEL ESTUDIO**



ANEXO L

CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO 3: EDIFICACIONES REPRESENTATIVAS