



**Guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas
en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso.**

Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián y Caizaguano Montero, Diego German

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo al título de Ingeniero Civil

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela PhD

17 de agosto del 2020

URKUND

Document Information

Analyzed document	Ballesteros Kevin & Caizaguano Diego URKUND.docx (D77763972)
Submitted	8/14/2020 7:48:00 AM
Submitted by	
Submitter email	dgcaizaguano@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	agharo.espe@analysis.orkund.com

ANA
GABRIELA
HARO BAEZ

Digitally signed by
ANA GABRIELA HARO
BAEZ
Date: 2020.08.17
21:36:25 -05'00'

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis ultimos cambios.docx Document Tesis ultimos cambios.docx (D47377492) Submitted by: pecaiza1@espe.edu.ec Receiver: pecaiza1.espe@analysis.orkund.com	 6
SA	20190123 Albarracin Augusto.pdf Document 20190123 Albarracin Augusto.pdf (D47159615)	 5
W	URL: https://dooplayer.es/162190901-Universidad-central-del-equador.html Fetched: 7/17/2020 11:15:21 PM	 4
SA	TESIS_RENGIFO-MERA.docx Document TESIS_RENGIFO-MERA.docx (D64022677)	 3
W	URL: https://repositorio.unan.edu.ni/5000/1/79126.pdf Fetched: 5/26/2020 5:52:33 AM	 2
SA	TESIS EGPP APA (Correccion final).docx Document TESIS EGPP APA (Correccion final).docx (D20951941)	 4
W	URL: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_dooman&view=download&alias=265 ... Fetched: 11/24/2019 5:05:52 AM	 1
SA	TESIS 2.0.docx Document TESIS 2.0.docx (D21576160)	 3
SA	TESIS ERAZO, SALGADO.docx Document TESIS ERAZO, SALGADO.docx (D21449227)	 5
SA	TESIS ALMAGRO Y PAREDES (23-08-2016).docx Document TESIS ALMAGRO Y PAREDES (23-08-2016).docx (D21479481)	 6
SA	TRABAJO DE TITULACIÓN-Cristian Correa.docx Document TRABAJO DE TITULACIÓN-Cristian Correa.docx (D23177319)	 1
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15853/1/T-ESPE-040777.pdf Fetched: 12/3/2019 6:36:44 AM	 1



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso.”** fue realizado por los señores **Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián y Caizaguano Montero, Diego German**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de agosto de 2020.

Firma:

**ANA GABRIELA
HARO BAEZ**

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela Ph.D

Digitally signed by ANA
GABRIELA HARO BAEZ
Date: 2020.09.25 19:49:04 -05'00'

C. C. 1713500302



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián** y **Caizaguano Montero, Diego German**, con cédulas de ciudadanía n° **1500643067** y **1718308594** respectivamente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 17 de agosto de 2020

Firma

Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián

C.C.: 1500643067

Firma

Caizaguano Montero, Diego German

C.C.: 1718308594



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián** y **Caizaguano Montero, Diego German** con cédulas de ciudadanía n° **1500643067** y **1718308594** respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 17 de agosto de 2020

Firma

Ballesteros Salazar, Kevin Sebastián

C.C.: 1500643067

Firma

Caizaguano Montero, Diego German

C.C.: 1718308594

Tabla de contenido

Resumen.....	21
Abstract.....	22
Generalidades	23
Planteamiento del Problema	23
Macro	23
Meso.....	29
Micro	33
Antecedentes.....	36
Justificación e Importancia	39
Objetivos	40
Objetivo General	40
Objetivos Específicos.....	40
Resumen de los Capítulos	41
<i>Estudio de la Gestión del Riesgo en Unidades Educativas Basado en FEMA P-1000 y</i>	
<i>Otras Normas</i>	<i>43</i>
Introducción a los Peligros Naturales en Unidades Educativas	43
Impactos de Peligros Naturales sobre Unidades Educativas	45
Enfoque Integral para Reducir el Riesgo en Unidades Educativas	48
Tipos de Amenazas para las Unidades Educativas.....	50

Edificios Escolares Seguros.....	52
Vulnerabilidad de los Edificios Escolares.....	54
Opciones de Mitigación.....	55
Planes de Acción	56
Plan de Respuesta	57
Propósito de un Plan de Operaciones de Emergencia (POE)	58
Proceso para Desarrollar un Plan de Operación de Emergencia.....	60
Plan de Recuperación	62
De Vuelta a los Edificios.....	62
Involucrando a la Comunidad	67
El Enfoque de Toda la Comunidad.....	67
Comprometer a los Socios de la Comunidad.....	70
Comunicación con la Comunidad	75
Herramientas y Tecnológica para una Comunicación Efectiva	79
Resumen del Capítulo.....	81
<i>Características Sísmicas de Sangolquí.....</i>	83
Ubicación Geográfica.....	83
Geología de Sangolquí.....	85
Tipos de Suelos	85
Fallas Geológicas	88
Requisitos de Seguridad en el Diseño Basado en Desempeño	93

Diseño Basado en Desempeño DBD.....	93
Riesgo Sísmico.....	107
Intensidad Macrosísmica.....	109
Vulnerabilidad.....	109
Daño	111
Modelar el Riesgo Sísmico	113
Peligro sísmico	117
Peligrosidad Sísmica Regional.....	118
Zona Sísmica según NEC-15	121
Peligrosidad Sísmica Local	122
Resumen del Capítulo.....	126
 <i>Elaboración de “Guía para Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica para Unidades</i>	
<i>Educativas Localizadas en la Parroquia de Sangolquí”</i>	
	127
Glosario de Términos	127
Generalidades de los Terremotos y el Impacto en Unidades Educativas	128
Unidades Educativas en Regiones Propensas a Terremotos.....	129
Vulnerabilidad de la Unidad Educativa	130
Edificios Escolares Seguros.....	132
Locación del Edificio Escolar	133
Tipos de Edificios Vulnerables	133
Sistemas no Estructurales.....	136

Procedimiento de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad (V)	137
Puntaje Base (P. Base)	139
Antes del Primer Código de Construcción (Pre código)	140
Primer Código Ecuatoriano de Construcción (CEC 77) (Periodo de Transición)	140
Código Ecuatoriano de Construcción 2000 (CEC 2000) (Post código)	141
Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) (Código Moderno).....	142
Modificadores de Puntaje (GV)	144
Aspectos Generales de la Unidad Educativa (Gv1)	146
Vulnerabilidad de Elementos Estructurales (GV2).....	164
Vulnerabilidad de Elementos No Estructurales (GV3)	192
Complemento de Vulnerabilidad.....	203
Interpretación del Puntaje de Grado de Vulnerabilidad.....	206
Evaluación rápida de las Estructuras Mediante FEMA P-154	207
Procedimiento de Evaluación Mediante FEMA P-154	209
Planificación Previa al Estudio de Campo	209
Selección y Revisión de Formulario de Recolección de Datos	210
Adquisición y Revisión de Datos Previos al Campo	210
Evaluación de Edificaciones (Apéndice B - Formularios FEMA P-154)	211
Riesgo de Colapso – FEMA P-154.....	215
Revisión de Resultados	215
Discusión y Difusión de Resultados	216
Resumen del Capítulo	216

<i>Riesgo Sísmico y Riesgo Global de Unidades Educativas.....</i>	217
Procedimiento para Obtener el Riesgo Sísmico de una Estructura (Rs)	217
Peligrosidad Sísmica	218
Estados de Daño.....	219
Matrices de Probabilidad de Daño MPD	220
Procedimiento de Evaluación de Riesgo Global (Rg).....	222
Nivel de Exposición de la Amenaza (NE)	223
Vulnerabilidad Total	224
Capacidad de Respuesta (Cr)	226
Interpretación del Puntaje de Capacidad de Respuesta	228
Cálculo del Coeficiente de Capacidad (C).....	229
Categorización de las Unidades Educativas.....	230
Aplicación Adicional: Modelo de Víctimas	232
Resumen del Capítulo.....	237
<i>Estudio de Caso: Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de Unidad Educativa</i>	238
Descripción del Estudio de Caso	238
Tabulación de Datos	238
Descripción General	238
Capacidad de Respuesta (Cr)	241
Vulnerabilidad y Riesgo de Edificios.....	255
Resultados y Recomendaciones	269

Resultados de Evaluación	269
Recomendaciones de los Resultados	272
Análisis de Resultados	272
Resumen del Capítulo.....	279
Conclusiones y Recomendaciones	280
Conclusiones	280
Recomendaciones	281
Referencias.....	282
Apéndices	297
Apéndice A Guía para Evaluar el Grado de Vulnerabilidad Sísmica de Unidades Educativas de la Parroquia de Sangolquí	297
Apéndice B Plan de Operación de Emergencias	297
Apéndice C Formularios de Evaluación	297
Apéndice D Estudio de caso	297

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Efectos en edificios escolares por terremotos en el mundo</i>	27
Tabla 2 <i>Situación de edificios escolares en Pedernales No. 63 tras terremoto de abril 2016</i>	32
Tabla 3 <i>Comparación de magnitudes e intensidades (escalas Richter y Mercalli Modificada)</i>	37
Tabla 4 <i>Fases de prevención y gestión del riesgo</i>	49
Tabla 5 <i>Fase de atención a crisis y emergencias</i>	49
Tabla 6 <i>Fase de Post-Emergencia</i>	50
Tabla 7 <i>Tipos de Amenazas para Unidades Educativas</i>	51
Tabla 8 <i>Tiempos de advertencia probables por amenaza y expectativa de ocupación escolar</i>	53
Tabla 9 <i>Límites del Cantón Rumiñahui</i>	83
Tabla 10 <i>Organización territorial, área y densidad poblacional</i>	84
Tabla 11 <i>Formaciones geológicas en el mapa geológico de Sangolquí Esc: 1:50 000</i>	86
Tabla 12 <i>Unidades geológicas localizadas en la Parroquia Sangolquí</i>	87
Tabla 13 <i>Segmentos de falla de Quito y magnitud de eventos (RA) y (SRL)</i>	90
Tabla 14 <i>Falla de Machachi y Magnitud de eventos (RA) y (SRL)</i>	93
Tabla 15 <i>Categorías de riesgo y factor de importancia por acción sísmica</i>	94
Tabla 16 <i>Niveles de desempeño estructural</i>	96
Tabla 17 <i>Niveles de desempeño no estructural</i>	97
Tabla 18 <i>Objetivos de desempeño</i>	98
Tabla 19 <i>Control de daño y niveles de desempeño para edificios</i>	99
Tabla 20 <i>Relación entre los niveles de desempeño del edificio y los niveles de amenaza</i>	101
Tabla 21 <i>Objetivos de seguridad para el reforzamiento de edificios</i>	101

Tabla 22 <i>Objetivos de seguridad para el reforzamiento de edificios</i>	102
Tabla 23 <i>Objetivos de desempeño básico para edificaciones existentes</i>	103
Tabla 24 <i>Tipo de uso, destino e importancia de la estructura</i>	104
Tabla 25 <i>Niveles de desempeño en base a filosofía de diseño sismo resistente</i>	106
Tabla 26 <i>Nivel de amenaza sísmica</i>	106
Tabla 27 <i>Nivel de desempeño estructural para estructuras de ocupación especial</i>	107
Tabla 28 <i>Descripción de los sismos históricos en Quito y el Valle de los Chillos</i>	119
Tabla 29 <i>Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z</i>	122
Tabla 30 <i>Zonas sísmicas del Ecuador, factor Z</i>	122
Tabla 31 <i>Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Puengasí. Suelo tipo C.</i>	123
Tabla 32 <i>Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Machachi. Suelo tipo C.</i>	124
Tabla 33 <i>Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Puengasí. Suelo tipo D.</i>	124
Tabla 34 <i>Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Machachi. Suelo tipo D.</i>	125
Tabla 35 <i>Región Sísmica a partir de la MCER Respuesta de Aceleración Espectral</i>	125
Tabla 36 <i>Grados de vulnerabilidad utilizados</i>	139
Tabla 37 <i>Filosofía de diseño</i>	141
Tabla 38 <i>Capítulos aprobados de la NEC-15 por años</i>	143
Tabla 39 <i>Puntajes base según el Año de Construcción</i>	144
Tabla 40 <i>Rangos de vulnerabilidad esperados por año de construcción</i>	144
Tabla 41 <i>Ejemplo de evaluación de modificadores de puntaje para cada GV</i>	145
Tabla 42 <i>Factor de influencia para GV en función del puntaje base</i>	146
Tabla 43 <i>Grado de vulnerabilidad por número de pisos</i>	147

Tabla 44 <i>Tipo de edificio FEMA</i>	148
Tabla 45 <i>Puntajes básicos de edificios FEMA</i>	157
Tabla 46 <i>Grado de vulnerabilidad por estado Edificación FEMA</i>	158
Tabla 47 <i>Separaciones recomendadas entre edificaciones adyacentes</i>	159
Tabla 48 <i>Guía para identificar problemas por la adyacencia de edificios</i>	160
Tabla 49 <i>Grado de vulnerabilidad por golpeo</i>	161
Tabla 50 <i>Grado de vulnerabilidad por adyacencia</i>	161
Tabla 51 <i>Tipo de perfil de Suelo</i>	162
Tabla 52 <i>Grado de vulnerabilidad por tipo de perfil de suelo</i>	163
Tabla 53 <i>Grado de vulnerabilidad por relación largo ancho</i>	165
Tabla 54 <i>Guía para identificar irregularidades en planta</i>	166
Tabla 55 <i>Grado de vulnerabilidad por irregularidad en planta</i>	167
Tabla 56 <i>Guía para identificar irregularidades en elevación</i>	167
Tabla 57 <i>Grado de vulnerabilidad por irregularidad en elevación</i>	170
Tabla 58 <i>Guía para identificar ampliaciones verticales – horizontales</i>	171
Tabla 59 <i>Grado de vulnerabilidad por ampliaciones verticales</i>	173
Tabla 60 <i>Grado de vulnerabilidad por ampliaciones horizontales</i>	174
Tabla 61 <i>Tipos de patologías en estructura metálica</i>	176
Tabla 62 <i>Tipos de condiciones para elementos metálicos</i>	178
Tabla 63 <i>Tipos de condiciones para elementos madera</i>	180
Tabla 64 <i>Guía para identificar grietas en vigas</i>	181
Tabla 65 <i>Grado de vulnerabilidad patologías en vigas</i>	184

Tabla 66 <i>Guía para identificar grietas en columnas</i>	185
Tabla 67 <i>Grado de vulnerabilidad por patologías en columnas</i>	187
Tabla 68 <i>Guía para identificar grietas en losas</i>	188
Tabla 69 <i>Grado de vulnerabilidad por grietas en losas de entrepiso y cubiertas planas</i>	189
Tabla 70 <i>Guía para identificar grietas en paredes</i>	190
Tabla 71 <i>Grado de vulnerabilidad por patología en paredes</i>	192
Tabla 72 <i>Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales externos</i>	193
Tabla 73 <i>Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales internos</i>	193
Tabla 74 <i>Grado de vulnerabilidad por estado de la edificación</i>	195
Tabla 75 <i>Tipos de cubiertas comunes en Ecuador</i>	195
Tabla 76 <i>Grado de vulnerabilidad por estado de conservación de cubiertas</i>	198
Tabla 77 <i>Grado de vulnerabilidad por puertas de salida o emergencia</i>	199
Tabla 78 <i>Grado de vulnerabilidad por ventanas</i>	200
Tabla 79 <i>Grado de vulnerabilidad por accesibilidad universal</i>	203
Tabla 80 <i>Grado de Vulnerabilidad Sísmica</i>	207
Tabla 81 <i>Generalidades en Formulario de recolección de Nivel 1</i>	211
Tabla 82 <i>Generalidades en Formulario de recolección de Nivel 2</i>	213
Tabla 83 <i>Grado o estado de daño esperados para edificios</i>	219
Tabla 84 <i>Nivel de exposición a la Amenaza</i>	224
Tabla 85 <i>Importancia de edificación según elemento de terreno</i>	226
Tabla 86 <i>Grados de Capacidad de respuesta</i>	227
Tabla 87 <i>Ejemplo de formato de evaluación de capacidad de respuesta</i>	228

Tabla 88 <i>Grado de Capacidad de Respuesta</i>	229
Tabla 89 <i>Categorías de unidades educativas según el riesgo global</i>	231
Tabla 90 <i>Dependencia de la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”</i>	239
Tabla 91 <i>Equipo de planificación colaborativa</i>	241
Tabla 92 <i>Evaluación del equipo de planificación</i>	242
Tabla 93 <i>Identificación de riesgos de unidad educativa</i>	243
Tabla 94 <i>Recursos disponibles en la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”</i>	244
Tabla 95 <i>Evaluación del entendimiento de la situación</i>	245
Tabla 96 <i>Objetivos del plan de gestión de riesgos</i>	246
Tabla 97 <i>Cursos de acción</i>	247
Tabla 98 <i>Evaluación de objetivos y metas, desarrollo de cursos de acción</i>	249
Tabla 99 <i>Evaluación y revisión del Plan de Operación de Emergencias POE</i>	250
Tabla 100 <i>Alarmas dentro de U.E.P. “Santa Ana”</i>	250
Tabla 101 <i>Sitios seguros</i>	251
Tabla 102 <i>Evaluación implementación del plan</i>	251
Tabla 103 <i>Evaluación del marco educativo</i>	253
Tabla 104 <i>Cálculo del grado de capacidad de respuesta</i>	254
Tabla 105 <i>Observaciones de la evaluación en campo</i>	254
Tabla 106 <i>Evidencia fotográfica de evaluación en campo edificio E2</i>	256
Tabla 107 <i>Puntaje base para edificio E2</i>	257
Tabla 108 <i>Evaluación y puntaje GV1 para edificio E2</i>	258
Tabla 109 <i>Evaluación y puntaje GV2 para edificio E2</i>	259

Tabla 110 <i>Evaluación y puntaje GV3 para edificio E2</i>	263
Tabla 111 <i>Puntaje de vulnerabilidad para edificio E2</i>	265
Tabla 112 <i>Elemento de terreno E para edificio E2</i>	265
Tabla 113 <i>Complemento de Vulnerabilidad de edificio E2</i>	266
Tabla 114 <i>Matriz de probabilidad de daño edificio E2 Tipo C3</i>	267
Tabla 115 <i>Resumen de evaluación de edificio y vulnerabilidad total de la unidad educativa</i>	269
Tabla 116 <i>Matriz de probabilidad de daño para estructuras construidas con CEC 2000</i>	274
Tabla 117 <i>Matriz de probabilidad de daño para estructuras construidas con CEC 77</i>	275
Tabla 118 <i>Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo C3</i>	277
Tabla 119 <i>Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo S5</i>	278
Tabla 120 <i>Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo URM</i>	278

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa de sismicidad global</i>	24
Figura 2 <i>Zonas sísmicas del Ecuador en función del factor Z</i>	30
Figura 3 <i>Edificio escolar colapsado durante terremoto de abril 2016</i>	32
Figura 4 <i>Daños ocasionados en Sangolquí, tras el sismo de 1938</i>	34
Figura 5 <i>Mapa de isosistas del sismo de 1938</i>	35
Figura 6 <i>Esquema de prevención y gestión de riesgo</i>	57
Figura 7 <i>Esquema de atención a Emergencias</i>	60
Figura 8 <i>Pasos para desarrollar Plan de Operación de Emergencias (POE)</i>	61
Figura 9 <i>Daños en edificios en la Escuela 18 de octubre tras sismo 16A</i>	63
Figura 10 <i>Esquema de Post- Emergencia</i>	67
Figura 11 <i>Conformación de brigadas de seguridad escolar conformada por estudiantes</i>	71
Figura 12 <i>Gestión de riesgo sísmico según FEMA P-1000</i>	81
Figura 13 <i>División política del cantón Rumiñahui</i>	84
Figura 14 <i>Mapa geológico de Sangolquí</i>	85
Figura 15 <i>Fallas geológicas en el valle interandino Ecuador</i>	88
Figura 16 <i>Falla de Quito y segmentos</i>	91
Figura 17 <i>Falla de Machachi (recuadro rojo)</i>	92
Figura 18 <i>Ejemplo del método macrosísmico del EMS 98</i>	116
Figura 19 <i>Epicentros de sismos asociados a fallas locales</i>	120
Figura 20 <i>Epicentros de sismos asociados a fallas locales</i>	121
Figura 21 <i>Espectros para la parroquia de Sangolquí asociado a fallas locales</i>	123

Figura 22 Espectro para la parroquia de Sangolquí asociado a la fallas locales.....	124
Figura 23 Escuela afectada por el sismo de Puebla – México (2017).....	129
Figura 24 Deslizamiento de tierra en la escuela San Marcos (Guatemala).....	131
Figura 25 Daños en una escuela de Bahía de Caráquez tras el sismo de 2016 (Ecuador)	131
Figura 26 Caída de elementos no estructurales después del terremoto (Northridge)	132
Figura 27 Colapso de Escuela Guánica, Puerto Rico (2020).....	135
Figura 28 Flujograma para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones	137
Figura 29 Intersección de espectro de demanda y curva de capacidad del edificio	153
Figura 30 Respuesta máxima del edificio	154
Figura 31 Curvas de fragilidad para movimientos de suelo variables.....	155
Figura 32 Separación entre edificios adyacentes.....	159
Figura 33 Correcta relación largo ancho	164
Figura 34 Tipo de patología en vigas metálicas (juego de uniones)	183
Figura 35 Tipo de patología en vigas de madera (podrición)	184
Figura 36 Rampas.....	201
Figura 37 Edificación con peligro potencial de deslizamiento de tierra	204
Figura 38 Señales visuales de asentamientos de edificios	206
Figura 39 Procedimiento para evaluación rápida de estructuras de FEMA	209
Figura 40 Flujograma para evaluar el riesgo sísmico en edificaciones	218
Figura 41 Funciones semiempíricas de vulnerabilidad	221
Figura 42 Flujograma para evaluar el riesgo global de unidades educativas	223
Figura 43 Distribución de la población de una unidad educativa	235

Figura 44 <i>Distribución de población en unidad educativa</i>	236
Figura 45 <i>Ubicación de Unidad Educativa Particular “Santa Ana”</i>	238
Figura 46 <i>Croquis de la U.E. Particular “Santa Ana”</i>	239
Figura 47 <i>Curvas de fragilidad para edificio E2</i>	267
Figura 48 <i>Ubicación de edificios vulnerables en la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”</i> ...	270
Figura 49 <i>Porcentaje de edificios por año de construcción (norma constructiva)</i>	273
Figura 50 <i>Vulnerabilidad media por año de construcción (Norma)</i>	273
Figura 51 <i>Función de vulnerabilidad por año de construcción (Norma)</i>	274
Figura 52 <i>Porcentaje de edificios por su tipo de construcción</i>	276
Figura 53 <i>Vulnerabilidad media por tipo de construcción (Material)</i>	276
Figura 54 <i>Funciones de vulnerabilidad por tipo de construcción (Material)</i>	277

Resumen

El proyecto se basa en el análisis y adaptación de la Guía para mejorar la seguridad escolar ante amenazas naturales FEMA P-1000, por y para las escuelas de los Estados Unidos, a nuestras propias unidades educativas, enfocándose primordialmente en lo referente al riesgo sísmico.

Lo que se busca es la generación de una herramienta que permita una evaluación eficaz de la infraestructura de las diferentes unidades educativas de la zona de estudio ante la amenaza de terremotos. Al considerar fundamentos técnicos de estructuración y manejo de desastres en edificaciones de uso escolar, se brindará a la sociedad un procedimiento práctico para reconocer aquellos aspectos que necesiten atención inmediata como parte de una acertada gestión de riesgos.

Por lo tanto, una vez completada la elaboración de la “Guía para la Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica para unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en el FEMA P1000”, se procederá a seleccionar un establecimiento educativo representativo para la aplicación de la guía, y de esta manera demostrar su uso e importancia.

Finalmente, realizada la evaluación del grado de vulnerabilidad de las edificaciones de la unidad educativa, se calculará el riesgo sísmico y riesgo global de la institución a fin de poder categorizarla.

Palabras Clave:

- **GRADO DE VULNERABILIDAD**
- **CAPACIDAD DE RESPUESTA**
- **RIESGO SÍSMICO**
- **UNIDAD EDUCATIVA**

Abstract

The current project has been based on the analysis and adaptation of the Guide to Improving School Natural Hazard Safety entitled FEMA P-1000 by the Federal Emergency Management Agency as used for schools in the United States, in order to educational institutions in Ecuador, focusing primarily on seismic risk.

The principal objective has been the generation of a tool that allows an effective evaluation of the infrastructure in the educational units in the area towards seismic hazards. When considering technical foundations for structuring and managing disasters in buildings for educational use, society will be provided with a practical procedure in order to recognize those aspects that need immediate attention as part of a successful seismic risk assessment.

Therefore, once the “Guide for the Assessment of the degree of seismic vulnerability for educational units from Sangolquí”, based on FEMA P-1000, was completed, a representative educational establishment has been selected for the application of the guide, demonstrating hereby its use and importance. Once the degree of vulnerability of the buildings of the educational unit has been evaluated, the seismic risk and the overall risk of the institution will be calculated in order to categorize it.

Keywords:

- **VULNERABILITY LEVEL**
- **RESPONSE CAPACITY**
- **SEISMIC RISK**
- **EDUCATIONAL UNIT (SCHOOL)**

Generalidades

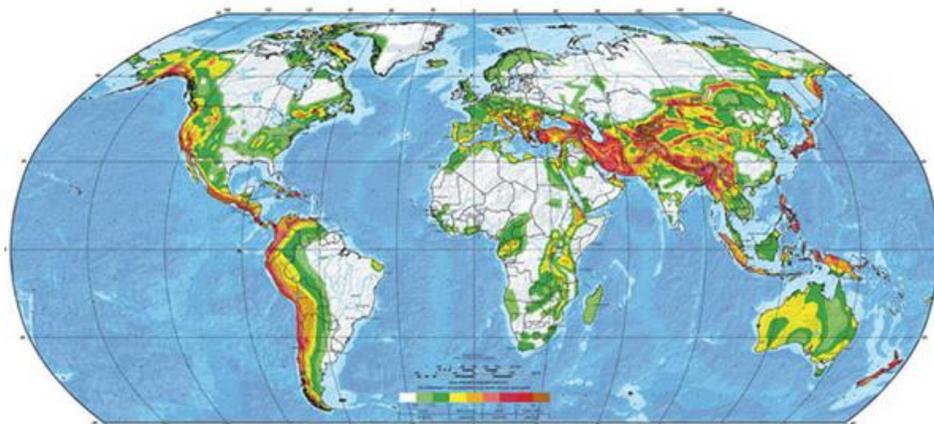
Planteamiento del Problema

Macro

A través de los años, la naturaleza se ha presentado de manera imponente con eventos catastróficos que han destrozado social y económicamente a varios países en todo el mundo. Ejemplos como el Huracán Katrina (2005) que golpeó el sur este de los Estados Unidos dejando un total de 1,833 fallecidos, el terremoto de Haití (2010) dejando un saldo de 316,000 víctimas mortales, el terremoto y subsecuente tsunami ocurridos en Chile (2010) con 525 muertos, el terremoto y tsunami en Japón (2011) con 15,405 muertos y 8,405 desaparecidos, el Tifón Haiyan que golpeó Filipinas (2013) con un saldo de 6,300 muertos, y el terremoto de Ecuador (2016) dejando 663 personas muertas. Las consecuencias de éstos y otros acontecimientos importantes, han permitido identificar el papel trascendental que juega el diseño estructural de edificaciones al momento de salvaguardar la integridad de sus ocupantes (Tandazo Regalado & Flores Díaz, 2012). La principal amenaza a la cual el presente proyecto hace referencia son los sismos, en la **Figura 1** se presenta un mapa de sismicidad global en el cual se han elegido diferentes colores para indicar el nivel de peligro sísmico. El color blanco es una peligrosidad baja, mientras que el color rojo, representa un alto nivel de peligro. En general, los sitios con mayor peligrosidad sísmica se localizan en áreas delimitadas por las diferentes placas tectónicas (Mena Hernández, 2002).

Figura 1

Mapa de sismicidad global



Nota: La figura indica el mapa de sismicidad global con una escala de colores. Recuperado de Giardini et al. (1999).

Los daños debido a sismos han obligado a tomar conciencia del daño potencial que las estructuras pueden sufrir a causa de estos eventos, por lo que se han creado organismos a nivel internacional, los cuales tienen como principal objetivo minimizar el impacto económico y social provocados a consecuencia de la ocurrencia de este tipo de amenazas. La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA¹, por sus siglas en inglés) tiene un papel importante en temas relacionados a desastres, ya que es la encargada de desarrollar herramientas de control y manejo de riesgos para garantizar el adecuado funcionamiento de las estructuras dentro de los Estados Unidos. Para ello fomenta diferentes investigaciones en distintas áreas de conocimiento

¹ FEMA (**Federal Emergency Management Agency**): tiene sus instalaciones en Washington D.C., Estados Unidos.

como: materiales de construcción, tipos de conexiones, formatos para evaluar el comportamiento sísmico de estructuras, planes de gestión de riesgo, entre otras. Lo que ha motivado a que cada uno de los países dentro del continente tome las respectivas acciones acorde a sus constituciones como políticas integrales, reglamentos nacionales, ordenanzas municipales, y más, a fin de precautelar la seguridad de sus ciudadanos, estableciendo organismos gubernamentales encargados de la gestión de riesgos y amenazas.

FEMA y los demás organismos gubernamentales de los diferentes países ven a las unidades educativas², como un punto de atención primordial para la prevención de riesgos ante amenazas, ya que son escenarios de enseñanza y aprendizaje en los cuales los niños y jóvenes, seguido de los docentes, personal administrativo y de servicios, entre otros, pasan la mayor parte de su tiempo. De este modo, los elementos físicos y estructurales que componen las instalaciones, y los procesos administrativos y pedagógicos, deben estar en condiciones de ofrecer un entorno seguro a quienes integran la comunidad educativa³.

El 7 de diciembre de 1988 un terremoto de magnitud 6.9 en escala de Richter y a una profundidad de 6 km sacudió a Spitak (Europa), así mismo el 17 de octubre de 1989 un sismo de una similar magnitud 7.1 en escala de Richter, con una profundidad de 15 km agitaron a Loma

² **Unidades Educativas:** Considérese en el presente proyecto a las instituciones de educación comprendidas desde el jardín de niños hasta el bachillerato.

³ **Comunidad Educativa:** Incluye desde el Ministro de Educación, hasta las familias vecinas al edificio escolar y, en general, la comunidad en donde se encuentra la unidad educativa, a la cual los alumnos pueden o no pertenecer. Pasando, por supuesto, por el alcalde, por las autoridades educativas del nivel local y por otros actores y sectores de la comunidad.

Prieta (Norteamérica) (Molchanov et al., 1992). Como característica común, áreas urbanas muy pobladas con viviendas, escuelas, colegios y otras infraestructuras importantes fueron golpeadas. Desafortunadamente, en Spitak los edificios dentro del área afectada fueron construidos con deficiente consideración de los efectos de un terremoto, por lo tanto, medio millón de edificios fueron destruidos, incluyendo más de 900 unidades educativas y cerca de 25,000 personas murieron en la destrucción, donde se estima que 6,000 de las muertes fueron niños en edad escolar (Balassanian et al., 1995).

En contraste con el terremoto de Spitak, el de Loma Prieta causó 63 muertes, a pesar de que este ocurrió después del horario de clases, únicamente tres unidades educativas sufrieron daños en su estructura, pero ningún edificio escolar colapsó. Afortunadamente para el área afectada, la “Ley de Campo” que se promulgó en respuesta al sismo de Long Beach (1933), que destruyó cientos de centros educativos, aseguró la construcción de edificios escolares que pudieron resistir el evento telúrico de 1989.

Comparando los casos anteriores, se observa que la implementación de códigos de construcción estrictos y medidas de mitigación en la ley y las prácticas de California salvó muchas vidas, en este estado los estándares de sismo resistencia son más rigurosos en su normativa en comparación a otros estados del país, lo que pone aún en riesgo a las unidades educativas que se encuentran en otros sitios de amenaza sísmica alta.

En México, tras los dos fuertes terremotos que sacudieron a Chiapas y a Puebla el 7 y 19 de septiembre de 2017, respectivamente, un alto número de unidades educativas resultaron con irreparables daños en su estructura mientras que otras colapsaron, alrededor de siete millones de niños vivían en las zonas afectadas por los sismos (Okuwaki & Yagi, 2017). Posterior

al desastre y en un ambiente de recuperación, UNICEF trabajó en conjunto para establecer centros temporales de enseñanza, promover directrices sobre seguridad en las unidades educativas, capacitar a profesores y directivos en apoyo psicosocial, distribuir material educativo y kits de desarrollo para los niños, representando una inversión de 3,5 millones de dólares (Allier Montaña, 2018).

A continuación, se presenta una tabla donde se indica las principales consecuencias de los sismos en centros educativos a nivel internacional.

Tabla 1

Efectos en edificios escolares por terremotos en el mundo

Terremoto	Fecha	Mw	Efectos en escuelas	Observaciones
Olympia, USA	13/04/1949	7.1	10 escuelas colapsadas y 30 escuelas dañadas.	Solo 2 niños murieron por que era día de receso escolar
Kern County, USA	21/07/1952	7.7	Una escuela colapsó, 15 sufrieron daño severo y 15 daño moderado, entre las 58 escuelas de la región	Solo una escuela sufrió daño moderado entre las 15 escuelas construidas después de la Ley Field
Skopje, Macedonia	26/07/1963	6.1	44 escuelas destruidas, de un total de 77 escuelas de la ciudad	Tuvo lugar a las 5:17 am por lo que se salvaron miles de vidas

Terremoto	Fecha	Mw	Efectos en escuelas	Observaciones
Perú	31/05/1970	7.7	6730 aulas colapsaron, cientos de escuelas seriamente dañadas	Aun cuando este evento provocó unas 70000 muertes no hubo víctimas en las escuelas debido a la hora de ocurrencia
El-Asnam, Argelia	10/10/1980	7.3	70% de las escuelas de El-Asnam fueron destruidas	Expertos reportaron el nivel desproporcionado de daños a escuelas. Baja pérdida de vidas debido a la hora de ocurrencia
Kobe, Japón	17/01/1995	6.9	4500 planteles con extenso daño estructural y no-estructural	Ocurrió muy temprano en la mañana y no se registraron víctimas
Nazca, Perú	12/11/1996	7.5	93 escuelas seriamente dañadas.	No hubo víctimas por estar las escuelas en receso
El Salvador	13/01/2001	7.6	85 escuelas tuvieron que ser demolidas y otras 279 sufrieron daños serios	50% de las víctimas fatales fueron niños.
Mólise, Italia	31/10/2002	5.6	Derrumbe de una escuela y la muerte de 27 niños y un maestro	Las víctimas escolares representaron el 93% de las víctimas del sismo

Terremoto	Fecha	Mw	Efectos en escuelas	Observaciones
Xinjiang, China	24/02/2003	6.3	900 salones de clases se derrumbaron	Los estudiantes estaban fuera de las aulas, en clases de educación física y sólo murieron 20 estudiantes.
Sureste de Asia	26/12/2004	9.3	750 escuelas destruidas en Indonesia. 55 escuelas destruidas en Sri Lanka. 44 escuelas destruidas en Maldives. 30 escuelas destruidas en Tailandia	Terremoto y tsunami; uno de las más grandes magnitudes registradas.
Cachemita, Paquistán	08/10/2005	7.6	Derrumbe generalizado de más 17000 escuelas provoco que unos 19000 niños muriesen	Los edificios escolares fueron afectados en mayor proporción que otros edificios
Sichuan, China	12/05/2008	7.9	Destrucción de al menos 6898 edificios escolares	12% de las aproximadamente 80.000 muertes fueron estudiantes y maestros

Nota: Esta tabla indica los principales efectos en escuelas a través de la historia. Tomado del estudio de Lopez (2008).

Meso

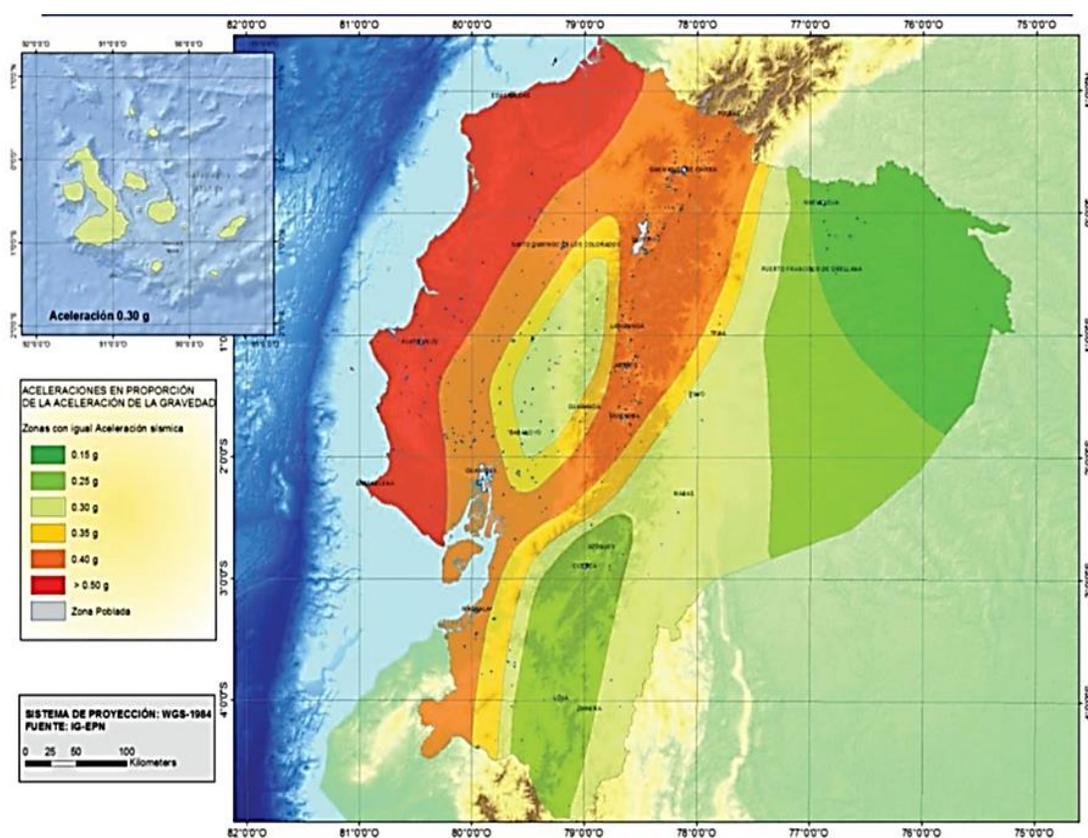
Ecuador está dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo tanto, es un país con un alto peligro sísmico. El principal fenómeno se presenta en la zona de Subducción en el Océano

Pacífico, ocasionado por la Placa de Nazca cuando subduce bajo la Placa Suramericana y Caribeña (Toulkeridis et al., 2017).

La **Figura 2** presenta las zonas sísmicas del país, proveniente del estudio de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 475 años (10% de excedencia en 50 años).

Figura 2

Zonas sísmicas del Ecuador en función del factor Z



Nota: La figura muestra las zonas sísmicas del Ecuador. Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Según MIDUVI y CAMICON (2014): la mayor parte del territorio ecuatoriano tiene una amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y la región del litoral que presenta una amenaza sísmica muy alta.

El 16 de abril de 2016 a las 18:58:36 (ECT), un terremoto de magnitud Mw 7.8 golpeó las costas ecuatorianas, provocando daños en las provincias de Esmeraldas y Manabí, incluidos los pueblos y ciudades de Muisne, Pedernales, Canoa, Bahía de Caráquez, Portoviejo y Manta. El PGA máximo registrado en Pedernales fue de 1.407g. Se observaron derrumbes de edificios a cientos de kilómetros del epicentro. El presidente de Ecuador, Rafael Correa, afirmó que el terremoto le costó al país más de \$ 1.3 mil millones, con una cifra final de muertos de 668 (La Republica, 2016). En el terremoto, 6,274 personas resultaron heridas, 12 desaparecidas, 113 personas rescatadas y 28,775 personas llevadas a refugios (Lanning et al., 2016).

De acuerdo al informe de situación No. 63, emitido por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2016), existieron edificaciones escolares colapsadas o con alto grado de deterioro, en las que se evidenció tres características en común. Por un lado, deficiencias en diseños y falta de control profesional durante la ejecución de las obras y, por otra parte, una deficiente implementación de reforzamiento de estructuras existentes a fin de prevenir posibles daños estructurales ante la incidencia de sismos severos.

Figura 3

Edificio escolar colapsado durante terremoto de abril 2016



Nota: La figura muestra el efecto del sismo de 16 de abril de 2016 sobre una escuela situada en la costa ecuatoriana. Recuperado de Lanning et al. (2016).

Tabla 2

Situación de edificios escolares en Pedernales No. 63 tras terremoto de abril 2016

Nivel de Daño	Cantidad de Unidades Educativas	Porcentaje
Sin afectación	1866	77%
Daños leves	394	16%
Daños medios	78	3%
Daños Severos	88	4%

Nota: Adaptado de Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2016).

Tras el terremoto, algunas de las estructuras de los planteles escolares de la costa se vieron afectadas debido principalmente a la mala práctica constructiva e implantación en terrenos no aptos. Los planteles que mayormente se han visto afectados fueron aquellos cuya construcción llevan la configuración de los modelos de escuelas utilizados hace más de 20 años

(Moreira et al., 2018). Por lo tanto, se evidencia la necesidad de realizar una evaluación de vulnerabilidad especialmente para los establecimientos con más años de funcionamiento.

En el año 2016, el Ministerio de Educación del Ecuador se convierte en un referente de la gestión de riesgos regional, expidiendo la “Política Integral de Seguridad Escolar”, la misma que adopta como herramienta de prevención y preparación para emergencias, al primer sistema integral de gestión de riesgos escolares, diseñado en forma exclusiva para los centros educativos. El Libro 2.1 y Libro 2.2 de esta política de seguridad escolar finalmente recomiendan un estudio de manera específica de las zonas en las cuales se encuentran las unidades educativas, ya que contar con un análisis más propio del sector, permite gestionar los procesos de prevención y mitigación (Torres, 2016).

Micro

Sangolquí es una de las tres parroquias urbanas del cantón Rumiñahui. Es uno de los más importantes centros administrativos, económicos, financieros y comerciales de la provincia de Pichincha, después de Quito (Municipio de Rumiñahui, 2018).

El 9 de agosto de 1938, los sismógrafos del Observatorio Astronómico registraron una serie de temblores a partir de las 03:00 horas, que finalmente culminaron con un sismo catastrófico a las 21:01 horas, en que las agujas saltaron del sismógrafo, y se rompieron partes del resorte de suspensión y piezas de precisión. El evento telúrico tuvo una magnitud de Mw 5.8 y tuvo su epicentro en las coordenadas 0.4S y 78.49W, en las cercanías de El Tingo y Alangasí, poblaciones que resultaron totalmente destruidas (Véase **Figura 4**) y con menor escala el sismo se sintió en Quito, Sangolquí, Tumbaco y Conocoto (Beauval et al., 2010).

Figura 4

Daños ocasionados en Sangolquí, tras el sismo de 1938



Nota: La figura muestra una fotografía de las casas colapsadas tras el sismo de Sangolquí de 1938.

Recuperada de Barona Zaldumbide (2010).

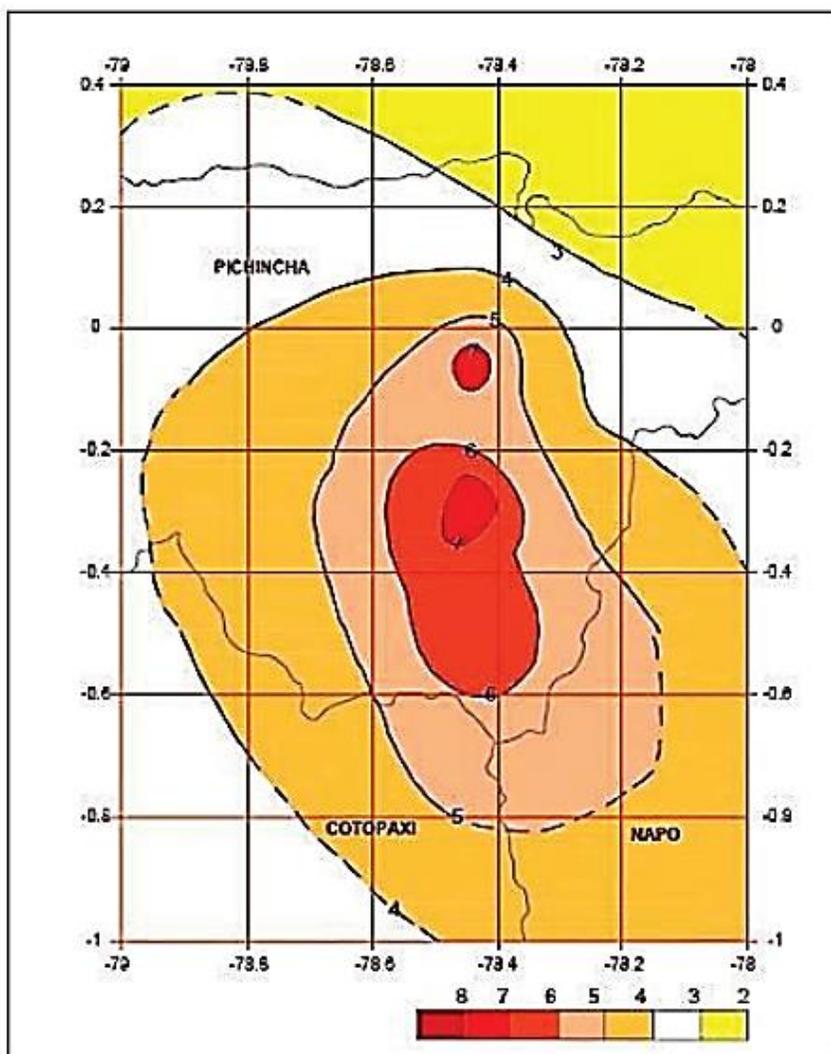
El sismo de 1938 provocó grietas en el terreno, deslizamientos en cerros y taludes, levantamiento vertical de terreno seguido por asentamientos, y adicionalmente, casas de ladrillo y adobe sufrieron daños irreparables (Egred, 2004). Un alto número de unidades educativas se vieron afectadas, incluso otras colapsaron ante el evento telúrico, ya sea por un deficiente estudio técnico o por el año de construcción de los edificios, ya que antes se carecía de información para determinar zonas vulnerables ante estos fenómenos naturales.

En la Figura 5 se muestra el mapa de isosistas para el sismo de 1938 en escala MSK⁴. Se observa también que en Sangolquí la intensidad estuvo en un rango de VII MSK.

⁴ **Escala MSK:** (Escala Medvédev-Sponheuer-Kárník) es una escala de intensidad macro sísmica usada para evaluar la fuerza de los movimientos telúricos basándose en el grado de afectación entre la población (construcciones y terrenos). Tiene doce grados de intensidad, expresados por números romanos.

Figura 5

Mapa de isosistas del sismo de 1938



Nota: La figura indica el mapa de isosistas del valle de los Chillos con los registros del sismo de 1938.

Recuperado de (Constantinou et al., 2018).

Existe un alto número de unidades educativas dentro de Sangolquí, los cuales son lugares esenciales para el desarrollo de la comunidad, no solo por ser el lugar donde se forman a

los futuros hombres y mujeres que gestionarán el desarrollo de la patria, sino porque son un sitio multifuncional como se ha explicado previamente, por lo tanto, este tipo de estructuras deben cumplir ciertas características tanto en su diseño y construcción como en la gestión que deben realizar sus autoridades para la prevención de riesgos (especialmente sísmico), por lo que cumplir con el término “sismo resistente”, se traduce en una edificación de baja vulnerabilidad ante un evento sísmico.

Según el Maldonado (2013), dentro de la parroquia de Sangolquí, se puede encontrar:

- 18 escuelas
- 10 colegios
- 16 unidades educativas
- 17 centros de educación (básica o infantil)

El presente proyecto busca sentar las bases para evaluar la infraestructura de los edificios que componen estos centros de educación.

Antecedentes

Ecuador se caracteriza por ser un país mega vulnerable frente a desastres naturales. De acuerdo a Toulkeridis (2015) en el Ecuador “hay una recurrencia de terremotos con magnitudes superiores a 7 grados, debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, por lo tanto el país ha sido clasificado como zona de alto peligro sísmico”.

Según Rivadeneira et al. (2007): “la historia sísmica del Ecuador está llena de dolorosas experiencias. En los últimos cinco siglos nuestro territorio ha sido golpeado por más de 37

terremotos con intensidades mayor a VII MM (Mercalli Modificada)⁵, intensidades en las que sus efectos se catalogan entre considerables y catastróficos”. Como ejemplos se destacan el terremoto de 1949 en la provincia de Tungurahua con una intensidad X MM y el ocurrido en Esmeraldas en 1906 de una intensidad de IX MM. Si al registro anterior se considera los sismos que han tenido intensidades de VI MM (daños leves), se incluyen 96 eventos sísmicos adicionales (Navas et al., 2018).

Para un mayor entendimiento de la información incluida en el presente proyecto de investigación se muestran los niveles de magnitud (Escala de Richter) y de intensidad (Escala Mercalli) de movimientos telúricos en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Comparación de magnitudes e intensidades (escalas Richter y Mercalli Modificada)

Mw	Escala Richter	Int	Escala Mercalli Modificada
2.5	Imperceptible, pero es registrado en sismógrafos.	I	Imperceptible para casi todas las personas.
		II	Perceptible para muy pocas personas.
3.5	Perceptible por las personas.	III	Temblor perceptible para muchas personas, pero no saben que lo es.
		IV	
		V	Perceptible por casi todas las personas, las personas se alarman.

⁵ **Escala Mercalli:** es una escala de doce grados que evalúa la intensidad de los terremotos no solamente por su magnitud, sino también a través de los daños causados y los efectos sobre las estructuras.

Mw	Escala Richter	Int	Escala Mercalli Modificada
4.5	Pueden producir daños pequeños en edificaciones.	VI VII	Perceptible para muchas personas, se alarman y salen de los edificios, los muebles se mueven, y pueden provocar algunos daños. Todas las personas corren fuera de las edificaciones, las estructuras mal construidas tienen daños grandes.
6.0	Terremoto medianamente destructivo	VIII	Las construcciones diseñadas adecuadamente presentan un ligero daño, las mal diseñadas colapsan.
7.0	Terremoto de importante potencial destructivo	IX X	Muchas construcciones colapsadas. El suelo presenta agrietamientos.
8.0	Terremoto de gran potencial destructivo	XI	Colapso de un altísimo número de construcciones. Puentes destruidos. Grandes grietas en el suelo.
9.0	Terremotos excepcionalmente destructivos	XII	Destrucción total de las construcciones. Se observa ondulaciones sobre la superficie del suelo.

Nota: Recuperado de Toulkeridis (2015).

Todas las ciudades dentro del país, debido a la geodinámica no homogénea de las regiones, el exponencial crecimiento demográfico y la ampliación limítrofe, deben contar con el principio fundamental de “construcción adecuada” considerando tres elementos importantes: la fundación, los materiales más óptimos para usarse en obra y el entorno en el que se desarrollan las actividades, evaluando la vulnerabilidad ante las amenazas sísmicas y el impacto ambiental.

La vulnerabilidad en el transcurso de los años ha sido difundida con diversos enfoques que aluden a la seguridad de las personas, poniendo en manifiesto la fragilidad del orden social. Por lo tanto, para un desarrollo sustentable, es indispensable una planificación inteligente y un ordenamiento territorial que respete e impide la influencia de amenazas de origen natural.

Según FEMA P-1000 (2017): La infraestructura de las unidades educativas cumplen con funciones críticas dentro de las comunidades. Por ejemplo, en ciertas ocasiones sirven como refugios designados para familias desplazadas después de un desastre natural o causado por el hombre. Sin embargo, incluso cuando no son designados como un refugio, la política escolar en todo el país manifiesta que los niños deben estar protegidos dentro de la unidad educativa hasta que los padres puedan recogerlos. En general, si la unidad educativa no está oficialmente designada como sitio clave post-emergencia, las políticas escolares los han convertido en uno.

Justificación e Importancia

Ecuador al ser un país propenso a la actividad sísmica, necesita de herramientas que permitan evaluar la vulnerabilidad de las instituciones tanto públicas como privadas, en términos de sismo resistencia, ya que establecimientos de gran afluencia de personas como hospitales, centros comerciales, y sobre todo colegios y escuelas, deben tener un bajo nivel de vulnerabilidad frente a inevitables eventos telúricos.

La aplicación de una guía que evalúe el grado de vulnerabilidad sísmica para las unidades educativas, es una herramienta que permitiría diagnosticar los problemas de las estructuras que conforman las instituciones, identificando los más comunes tanto en el diseño como en la construcción y funcionamiento.

El presente proyecto de investigación es una herramienta conveniente para la evaluación de vulnerabilidad sísmica, ya que gracias a ella los profesionales como ingenieros civiles, podrán tomar decisiones acertadas al implementar medidas de prevención, mitigación y adecuamiento para la reducción de la vulnerabilidad del establecimiento ante la amenaza sísmica.

Gracias a la guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica para unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P1000, propuesta en el presente estudio, no solamente los estudiantes y profesores, se beneficiarán de este proyecto de investigación sino toda la comunidad educativa. Estos sitios en ocasiones son refugios para desplazados, en otros momentos son recintos electorales, o simplemente un sitio de reunión donde la comunidad se establece para realizar asambleas u organizar actividades recreativas. Por lo tanto, la necesidad de contar con un establecimiento seguro ante eventos sísmicos, beneficia a toda la sociedad ya que las unidades educativas son un centro fundamental para el desarrollo de comunidades.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica, basada en el FEMA P1000, para unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí.

Objetivos Específicos

- Analizar las características sísmicas de la parroquia de Sangolquí, mediante una recolección de datos para el diseño de la guía local.

- Diseñar una guía que permita evaluar el grado de vulnerabilidad de unidades educativas dentro de la zona de estudio, adaptando la guía FEMA P-1000 y considerando las normativas de diseño sismo resistente nacional e internacional.
- Realizar el estudio de caso a una unidad educativa dentro de la parroquia de Sangolquí, mediante la guía desarrollada, para validar su practicidad.

Resumen de los Capítulos

El Estudio de la Gestión del Riesgo en Unidades Educativas Basado en FEMA P-1000 y Otras Normas identifica las estrategias de la Guía FEMA P-1000, y otras guías, para la gestión del riesgo de amenazas naturales (en este caso se considera únicamente a la amenaza sísmica) en la cual se describe los mecanismos que se deben considerar al momento de la planificación de la respuesta en caso de un terremoto en horario escolar, a fin de reducir el riesgo sísmico de las unidades educativas, con ello finalmente se emite un formulario para la evaluación de la Capacidad de Respuesta (Cr) que toma parte importante junto a la vulnerabilidad para determinar el riesgo global de una unidad educativa.

Las **Características Sísmicas de Sangolquí**, realiza un estudio de la sismicidad y todo lo referente a este tema dentro de la parroquia Sangolquí, considerando las características físicas de la zona como la geología, peligrosidad sísmica de acuerdo a varios estudios, junto a la importancia de conocer el pasado sísmico de esta zona.

La **Elaboración de “Guía para Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica para Unidades Educativas Localizadas en la Parroquia de Sangolquí”**, combina las herramientas brindadas por FEMA, y otras normas para la realización de los formularios de evaluación de vulnerabilidad,

mediante criterios básicos de ingeniería como el año de construcción, tipo de edificio (material de construcción), estado de elementos estructurales y no estructurales. Además, se presenta una solución adicional a la evaluación de estructuras mediante la evaluación visual rápida descrita en FEMA P-154.

El **Riesgo Sísmico y Riesgo Global de Unidades Educativas**, describe el procedimiento para determinar el riesgo sísmico en base a los estudios realizados por Grünthal (1998), y el riesgo global mediante la investigación de Lopez (2008), Además se describe los factores utilizados para cuantificar estos riesgos, considerando su importancia, como el uso y ocupación de las estructuras dentro de la institución, la vulnerabilidad física obtenida y también la capacidad de respuesta educativa.

El **Estudio de Caso: Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de Unidad Educativa**, describe el procedimiento de evaluación del grado de vulnerabilidad de la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”, además se presenta los resultados obtenidos por medio de la aplicación de la guía y se discute los resultados. Se realiza la recomendación de las estrategias a considerarse para mejorar el grado de vulnerabilidad obtenido.

Las **Conclusiones y Recomendaciones**, describe las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto de investigación.

Estudio de la Gestión del Riesgo en Unidades Educativas Basado en FEMA P-1000 y Otras

Normas

En el presente capítulo se explica de manera breve la metodología y herramientas para desarrollar una gestión de riesgos apropiada, basada en un adecuado estudio de vulnerabilidad para amenazas naturales. Para ello se estudia a las diferentes guías, y manuales nacionales e internacionales, que abordan estos temas. Como principal referente de este estudio se encuentra la Agencia Federal de Manejo de Emergencias FEMA de los Estados Unidos que aborda diversos temas importantes desde gestión de riesgos, hasta normativas y guías para la construcción de edificios seguros, y resistentes a cualquier amenaza.

FEMA ha realizado un acertado estudio referente a la gestión de riesgos de amenazas naturales en unidades educativas, y lo ha presentado en una guía denominada Safer, Stronger, Smarter - A Guide to Improving School Natural Hazard Safety, (Más seguro, más fuerte, más inteligente: Una guía para mejorar la seguridad escolar contra los peligros naturales) FEMA P-1000, la cual es un referente para el desarrollo del presente proyecto. Además, en capítulos posteriores se establece una herramienta para evaluar la vulnerabilidad sísmica aplicando entre otros el manual FEMA-P154 "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards" (Evaluación visual rápida de edificios para detectar posibles riesgos sísmicos).

Introducción a los Peligros Naturales en Unidades Educativas

Las unidades educativas son lugares fundamentalmente importantes, dentro de ellos se encuentran estudiantes, profesores y demás personal que realizan sus actividades durante las

secciones matutina, vespertina o nocturna y son el espacio donde las futuras generaciones son educadas.

Debido a que los peligros naturales son poco frecuentes, son vistos como menos urgentes y se quita la importancia correspondiente cuando se compara con otro tipo de amenazas. Sin embargo, los líderes escolares⁶ y funcionarios municipales tienen una responsabilidad moral y legal, de hacer que sus unidades educativas sean más resistentes durante una emergencia y minimizar el riesgo de desastre ante un evento de peligro natural. La planificación adecuada de la gestión de riesgos da como resultado unidades educativas más seguras, preparadas y resistentes, y los beneficios de garantizar la seguridad escolar van más allá del patio escolar, ya que estos centros educativos ayudan a impulsar la salud, prosperidad y calidad de vida para toda una comunidad.

La educación sobre el riesgo de desastres en los planes de estudio de las unidades educativas promueve la concientización y una mejor comprensión del entorno inmediato en el que los niños y sus familias viven y trabajan. Basado en experiencias previas, los niños que conocen sobre los riesgos de las amenazas naturales desempeñan un importante papel cuando se trata de salvar vidas y proteger a los miembros de la comunidad (UNICEF et al., 2017).

⁶ **Líderes escolares:** Son los encargados de velar por la seguridad escolar, en Ecuador se tienen a los secretarios de educación.

Impactos de Peligros Naturales sobre Unidades Educativas

Los desastres naturales pueden tener impactos tanto inmediatos como a largo plazo en los edificios escolares, sus ocupantes y en la comunidad circundante. El peor escenario presenta muertes y lesiones entre los estudiantes y el personal cuando las estructuras no son seguras o están ubicadas en áreas vulnerables a los peligros naturales.

La cantidad de niñas y niños que han perdido sus vidas o que han sido afectados gravemente durante desastres, constituye la necesidad de garantizar una construcción de territorios con seguridad integral y verdadera para sus habitantes, además de alertar a los encargados municipales y nacionales sobre las consecuencias de no hacerlo de manera inmediata y adecuada. Las unidades educativas también figuran entre quienes se ven afectados de las decisiones equivocadas sobre la manera de concebir y de llevar a cabo el desarrollo (UNICEF et al., 2017).

Los estudiantes dependen tanto de la infraestructura de los edificios escolares como del personal para garantizar su seguridad y bienestar, durante y después de un desastre causado en horario escolar. Debido a la interrupción de las actividades y el daño que puede acompañar a un evento catastrófico, las autoridades escolares, el personal y los maestros necesitan cuidar a los niños durante un período prolongado de tiempo antes de reunirse con sus padres o representantes legales. Las experiencias durante un desastre y el largo período de recuperación, pueden resultar en un trauma emocional tanto para los estudiantes como para el personal (FEMA P-1000, 2017).

Cuando los estudiantes no pueden asistir a su unidad educativa se ve afectada toda la comunidad y su capacidad de recuperación, ya que se interrumpe la educación de los

estudiantes, su rutina y los servicios escolares que reciben se suspenden, los padres de los niños más pequeños a menudo no pueden regresar al trabajo, lo que detiene el proceso de recuperación tanto para ellos como para los niños. La recuperación de toda la comunidad está vinculada a la capacidad de recuperación de las instituciones.

Impactos en Operaciones de la Unidad Educativa.

Los días y semanas posteriores a alguna emergencia pueden afectar severamente las operaciones escolares ya que el daño en la infraestructura de los edificios, las carreteras y servicios públicos puede llevar al cierre de unidades educativas por un tiempo indefinido. Además, las operaciones escolares pueden verse afectadas por la falta de personal, debido a retrasos en el retorno de las evacuaciones a gran escala, o debido a que el personal vive en vecindarios gravemente afectados. Los edificios escolares a menudo son asignados como refugios para la comunidad después de un desastre debido a su ubicación privilegiada y por su disponibilidad de grandes espacios, como gimnasios y auditorios, aunque esto puede empeorar la reanudación de las operaciones escolares. Estos impactos en las operaciones escolares deben considerarse dentro de los Planes de Operación de Emergencia (EOP, por sus siglas en inglés) de las unidades educativas.

Vulnerabilidades de los Edificios Escolares.

Los códigos de construcción cambian y mejoran continuamente a medida que los profesionales aplican nuevas tendencias constructivas sobre el diseño más óptimo resistente a desastres, muchos edificios escolares tienen décadas de antigüedad y, por lo tanto, se construyeron según los estándares de códigos de construcción más antiguos. Es decir, los edificios escolares más antiguos son particularmente vulnerables a las amenazas naturales y, en

la mayoría de los casos, los administradores escolares no tienen los recursos financieros para abordar esta situación.

En muchos casos, las unidades educativas están designadas como refugios, sin embargo, no han sido diseñadas o construidas según los estándares que garantizarán que sean utilizables incluso después de un desastre. Tanto la designación como la operación de los refugios en los edificios escolares toman cuidadosa consideración y planificación, desde el código de construcción y los requisitos de desempeño hasta las consideraciones operativas. El equipo central de planificación, que debe incluir organizaciones locales de gestión de emergencias, debe tener acuerdos preestablecidos como parte del Plan de Operación de Emergencia (POE) de la unidad educativa.

Exposición a Eventos Sísmicos.

Se puede pensar que la seguridad ante sismos está garantizada, pero en realidad no lo es, a partir de 2012 la edad promedio de los edificios de las unidades educativas públicas en los Estados Unidos era de 44 años (Alexander & Lewis, 2014); si bien algunas reformas importantes se pudieron haber desarrollado en ese lapso de tiempo, la construcción original de numerosos edificios escolares es anterior a muchos de los requisitos del código de construcción vigente, los cuales protegen a los ocupantes de peligros naturales, y deberían ser motivo de preocupación. De hecho, la mayoría de los edificios escolares más antiguos son de construcción de mampostería no reforzada, que es posiblemente el tipo de edificio más vulnerable a los daños por terremotos. Por lo tanto, las acciones que deben tomar los funcionarios estatales y escolares incluyen:

- Identificar la vulnerabilidad de las unidades educativas en caso de alguna amenaza.

- Mejorar las prácticas de diseño y construcción de edificios escolares nuevos o de reemplazo.
- Colaborar y coordinar con socios de la comunidad para desarrollar un POE escolar integral que apoye a la comunidad escolar antes, durante y después de los sismos.

Las autoridades dentro de las unidades educativas y los funcionarios municipales son los encargados de educar y proteger a los estudiantes ante las posibles amenazas naturales. Sin embargo, estos peligros pueden ser un tema aún desconocido, que requiere de habilidades, planes y apoyo a las que las comunidades escolares suelen no tener acceso. La pobre respuesta de un edificio durante un desastre intenta minimizarse, pero con estrategias inadecuadas en materia de prevención, respuesta, recuperación y mitigación de los desastres naturales. En contraste, las unidades educativas que han tomado medidas para reducir sus riesgos y se han preparado de una manera adecuada para afrontar las emergencias pueden responder de manera eficiente, recuperarse rápidamente y ayudar a toda la comunidad a sobrellevar un desastre.

Enfoque Integral para Reducir el Riesgo en Unidades Educativas

El enfoque integral para la seguridad ante peligros naturales debe incorporar diferentes acciones para reducir el riesgo. Los profesionales de preparación y gestión de emergencias deben trabajar para desarrollar capacidades en las siguientes áreas de misión.

Tabla 4*Fases de prevención y gestión del riesgo*

Fases	Descripción
Prevención	Son acciones para evitar un incidente. Si bien no es posible prevenir la mayoría de peligros, hay medidas preventivas disponibles. Por ejemplo, sembrar árboles previene la erosión y los deslizamientos del terreno.
Protección	Son acciones continuas que protegen a la comunidad educativa y al edificio escolar contra peligros naturales. Por ejemplo: Organización de simulacros y desarrollo de políticas para evaluaciones continuas, basadas en el sitio y planificación de desastres.
Mitigación	Son acciones para reducir la pérdida de vida y daños a la propiedad en caso de una emergencia. Son acciones para reducir la vulnerabilidad de edificaciones. Por ejemplo: Adecuar estructuras antiguas con mecanismos sismorresistentes.

Nota: Adaptada de FEMA P-1000 (2017).

Tabla 5*Fase de atención a crisis y emergencias*

Fases	Descripción
Respuesta	Son acciones para estabilizar cuando una emergencia sucede o es inevitable que suceda. Se debe establecer un ambiente seguro y protegido para salvaguardar la vida de personas dentro de los establecimiento y propiedades, de esta manera facilitar la transición a la recuperación. Por ejemplo: Activar protocolos de respuesta en caso de un terremoto, proteger en todo momento a los alumnos hasta que los representantes legales puedan retirarlos.

Nota: Adaptada de: FEMA P-1000 (2017).

Tabla 6*Fase de Post-Emergencia*

Fases	Descripción
Recuperación	Son acciones para desarrollar mecanismos adecuadas para el manejo de las unidades educativas afectadas por un desastre natural. Además, sirven para mejorar la capacidad de respuesta ante un riesgo de desastre futuro.

Nota: Adaptada de: FEMA P-1000 (2017).

Tipos de Amenazas para las Unidades Educativas

Ciertos fenómenos naturales ocurren repentinamente durante la vida de una persona, como inundaciones o deslizamientos, pero también otro tipo de eventos poco comunes como los terremotos que pueden llegar a ocurrir una sola ocasión en varias generaciones. Algunas comunidades pueden incluso experimentar múltiples amenazas, por ejemplo, pueden estar expuestas a un tipo de peligro natural con regularidad como inundaciones, aunque también podrían enfrentar un riesgo alto de eventos como terremotos o tsunamis. Independientemente de su frecuencia, es importante que las unidades educativas estén preparadas y listas para responder un desastre provocado por alguna de estas amenazas.

Las amenazas naturales no son las únicas que se debe tomar en cuenta ya que existen otros tipos de amenazas que pueden traducirse en riesgo para las unidades educativas (Véase **Tabla 7**). Es importante notar que los peligros pueden suceder en cascada, lo que significa que un evento genera o está relacionado con otro. Además, un peligro natural solo se convierte en un desastre cuando se produce una interrupción generalizada de la comunidad y muchas personas se ven afectadas simultáneamente.

Tabla 7*Tipos de Amenazas para Unidades Educativas*

Tipo de Amenaza	Amenaza Específica
Amenazas Naturales	Terremotos
	Inundaciones
	Tsunamis
	Fuertes Vientos
	Erupciones Volcánicas
	Incendios Forestales
Amenazas Tecnológicas	Explosiones o liberaciones accidentales de gases tóxicos provenientes de plantas industriales.
	Liberaciones accidentales de materiales peligrosos desde dentro de la unidad educativa (por ejemplo, fugas de gas, derrames de laboratorio)
	Liberaciones de materiales peligrosos de carreteras o ferrocarriles
	Emisiones radioactivas de centrales nucleares
	Fallo de una represa
	Fallas eléctricas
	Fallas hidráulicas
Amenazas Biológicas	Enfermedades infecciosas
	Brotos de alimentos contaminados
	Materiales tóxicos presentes en laboratorios escolares
Amenazas adversas, incitadas por el hombre	Incendio
	Franco tiradores
	Acciones criminales
	Intimidación, violencia de pandillas o bullying
	Amenazas de bomba

Tipo de Amenaza	Amenaza Específica
	Ataques cibernéticos
	Suicidio

Nota: Adaptado de: U.S. Department of Education (2013).

Edificios Escolares Seguros

Los edificios generalmente pueden soportar cambios climáticos comunes, como lluvia, granizo y viento. Sin embargo, los eventos de peligro natural poco frecuentes pueden provocar fuerzas que ejercen enormes cargas y tensiones en los edificios, lo que puede provocar daños o incluso colapsos. Los diferentes tipos de riesgos naturales afectan a los edificios de diferentes maneras, por ejemplo, la sacudida de un terremoto podría causar daños a todo el marco estructural y dejarlo inutilizable, mientras que otros eventos afectarían una sección de la cubierta o la pared que puede dejar áreas semiafectadas y otras potencialmente inutilizables.

Se desea evitar daños a los edificios escolares por cualquier peligro natural, en particular para las unidades educativas que son más propensas cuando hay una escasa o nula advertencia. Debido a que los tiempos de advertencia pueden variar, estudiantes y personal escolar podrían estar dentro de los edificios escolares durante el evento, mientras que por otro tipo de amenaza es probable que la unidad educativa haya sido previamente evacuada y el edificio esté vacío. A continuación, se proporciona una lista de los tiempos de advertencia probables por peligro y la ocupación esperada correspondiente si el evento ocurriera durante el horario escolar.

Tabla 8

Tiempos de advertencia probables por amenaza y expectativa de ocupación escolar

Amenaza	Tiempo de advertencia esperado	Expectativa de ocupación escolar durante eventos de peligro que coinciden con el horario escolar
Terremoto	Sin advertencia o segundos de advertencia	Ocupado, dada la falta de tiempo de advertencia
Inundación	Usualmente de horas a días de advertencia, aunque en ocasiones no hay aviso especialmente para inundaciones repentinas	La evacuación anticipada es probable en la mayoría de los casos. Sin embargo, puede estar ocupada en casos eventuales, como inundaciones repentinas
Tsunami	Minutos de advertencia para tsunamis locales y algunas horas de advertencia para tsunamis distantes	La evacuación anticipada es probable en la mayoría de los casos. Sin embargo, puede estar ocupada si la unidad educativa es un edificio de evacuación vertical designado por el tsunami
Fuertes Vientos	De minutos a horas de advertencia	Normalmente ocupado, dada la falta de tiempo de advertencia en la mayoría de los casos

Nota: Adaptada de FEMA P-1000 (2017).

Para las unidades educativas amenazadas por algún peligro se debe priorizar la elaboración de evaluaciones. Para riesgos con tiempos de advertencia más largos, los procedimientos de evacuación efectivos y la capacitación continua son importantes. En todos los casos es fundamental tener edificios escolares que sean resistentes a los peligros para minimizar daños e interrupciones, y para garantizar la continuidad educativa.

Vulnerabilidad de los Edificios Escolares

Las amenazas naturales afectan de diferente manera a los edificios escolares, por ejemplo: los terremotos sacuden intensamente todo el edificio, los vientos fuertes producen presiones en los sistemas de paredes y cubiertas exteriores, y las inundaciones y tsunamis generan enormes presiones de agua en las partes interiores o exteriores del edificio respectivamente. Si bien estas consideraciones requieren diferentes enfoques analíticos, el proceso general para identificar y mitigar vulnerabilidades significativas en los edificios es esencialmente el mismo y requerirá el asesoramiento de profesionales del diseño.

Algunos líderes escolares son reacios a examinar la vulnerabilidad de sus edificios por varias razones, principalmente les preocupa que las mejoras sean de un alto nivel económico, temen la reacción de los padres o representantes legales si conocen que el edificio es potencialmente inseguro ante un desastre natural. Además, la autoridad y la responsabilidad de evaluar la vulnerabilidad estructural en los edificios escolares, por lo general, no forman parte explícita de la descripción del trabajo de ninguna persona. Sin embargo, ninguno de estos motivos de renuencia cambia la importancia fundamental de que los edificios escolares tengan una resistencia adecuada a los peligros naturales. En muchas comunidades han surgido defensores de la gestión de emergencias que están dispuestos a enfrentar estos problemas desafiantes por el bien de la comunidad educativa.

Existen estándares que definen enfoques consistentes y técnicamente rigurosos para evaluar la vulnerabilidad del edificio para la mayoría de los peligros naturales, para cada uno, el proceso específico de identificación de vulnerabilidades y definición de opciones de reducción de riesgos es diferente. En primera instancia y a un costo bajo es que los expertos identifiquen

algunas características preliminares, como la edad del edificio, el tipo de construcción, el tipo de suelo en el que están asentadas o la exposición a riesgos en el sitio escolar. Esta información de evaluación preliminar le permite al equipo identificar rápidamente posibles señales de alerta para que los líderes escolares puedan tener una conversación más profunda sobre el procedimiento adecuado para la mitigación de amenazas.

Comprender las vulnerabilidades de un edificio escolar es particularmente importante si está previamente designado como un refugio para que las personas lo usen durante una emergencia. Por ejemplo, si un edificio está designado como un lugar seguro para ir durante un tsunami o un desplazamiento social, deberá garantizar que el edificio está diseñado y construido para proteger a las personas que se encuentren dentro durante el evento. Algunas unidades educativas también pueden ser designadas para ser utilizadas como albergues para ayudar durante la recuperación posterior al desastre, por lo que, es importante comprobar si es probable que el edificio sea funcional después de un evento de peligro natural. Si alguna de estas designaciones es aplicable a una unidad educativa, es fundamental que el equipo de profesionales calificados que realizan la evaluación del edificio esté al tanto de esto.

Opciones de Mitigación

Las opciones de mitigación pueden variar significativamente en su alcance, costo, tiempo de implementación, nivel de interrupción, personal requerido y efectividad para reducir el riesgo. Estas deben evaluarse en base a los requisitos del código de construcción para mejoras y reparaciones. Por un lado, las mejoras pueden permitir que las instalaciones cumplan con el código de construcción actual, lo que podría incluir consideraciones adicionales, como

accesibilidad, la mayoría del trabajo para fortalecer los edificios será visto favorablemente por los técnicos de construcción siempre que el edificio general no sea menos fuerte. Por otro lado, las reparaciones después de un evento también pueden desencadenar en nuevos requisitos para los códigos de construcción en función a la cantidad de daños en el edificio.

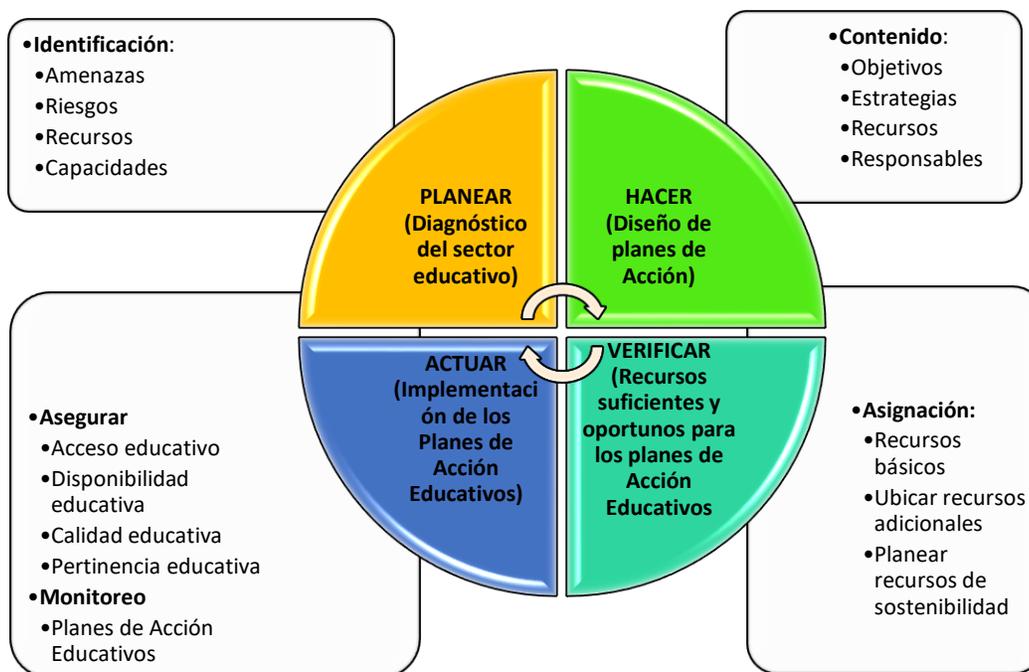
Planes de Acción

Después de identificar las vulnerabilidades del edificio escolar y las opciones de mitigación, comienzan las tareas de priorizar y escalonar las acciones, construir el apoyo político y comunitario y recaudar los fondos necesarios; que puede ser un proceso difícil. Buscar fondos para mejorar las instalaciones, reemplazo o nueva construcción es una tarea compleja que la mayoría de las autoridades escolares enfrentarán eventualmente, incluso los fondos más pequeños necesarios para planificar evaluaciones de ingeniería que preceden a los proyectos de capital pueden no estar disponibles o ser difíciles de recaudar.

Las autoridades escolares responsables de las unidades educativas tendrán que priorizar las actividades de mitigación basados en el concepto "El peor primero". Esta estrategia aborda primero las vulnerabilidades más significativas que afectan al mayor número de niños, seguido de las menos críticas. En algunos casos, la mitigación se incorpora como parte del mantenimiento planificado o el reemplazo de componentes deteriorados del edificio. En otros casos, las comunidades buscan proyectos menos costosos primero, mientras obtienen apoyo y recaudan fondos para proyectos más costosos.

Figura 6

Esquema de prevención y gestión de riesgo



Nota: La figura presenta el ciclo de la gestión y prevención del riesgo. Adaptada de: Castillo et al. (2011).

Plan de Respuesta

Cuando ocurre una emergencia durante el horario escolar, el personal de la unidad educativa asume la responsabilidad de los estudiantes bajo su cuidado, debido a que son los únicos presentes en ese momento capaces de ayudar a los estudiantes. Las autoridades deben permanecer flexibles en su enfoque y ser capaces de hacer frente al entorno dinámico del desastre. El desarrollo de un Plan de Operaciones de Emergencia (POE) efectivo brinda al personal escolar una dirección definitiva sobre qué hacer antes, durante y después de una

emergencia. Además, proporciona una dirección clara y procesable sobre "quién, qué, cuándo, dónde, por qué y cómo" para la respuesta de emergencia.

Debido a que la solución de problemas es crítica para una respuesta adecuada ante un desastre, la estructura, el proceso y los procedimientos de un POE debe permitir flexibilidad e improvisación ya que no se puede planificar cada escenario con una anticipación acertada. Si las autoridades y la comunidad educativa contribuyen al desarrollo del POE, y trabajan en equipo utilizando enfoques integrales que apoyan un proceso estandarizado, es más probable que la unidad educativa funcione bien en caso de una emergencia. Sin embargo, aunque tener el POE es importante, igualmente lo es tener redes de interesados, sociedad con otras unidades, conexiones y capacidad organizativa para implementar el plan, combinados estos elementos conducen a una respuesta efectiva.

Propósito de un Plan de Operaciones de Emergencia (POE)

La planificación adecuada del manejo de emergencias ayuda a garantizar que una comunidad educativa ejecute una respuesta organizada, oportuna y bien comunicada cuando ocurre lo inesperado. Cada unidad educativa debe desarrollar y mantener un POE que indique claramente qué acciones deben tomarse antes, durante y después de un evento de emergencia, quién es responsable de las acciones y las contingencias para las diferentes situaciones que puedan surgir. El plan debe proporcionar suficientes detalles que permita ser procesable, fácil de entender y usar.

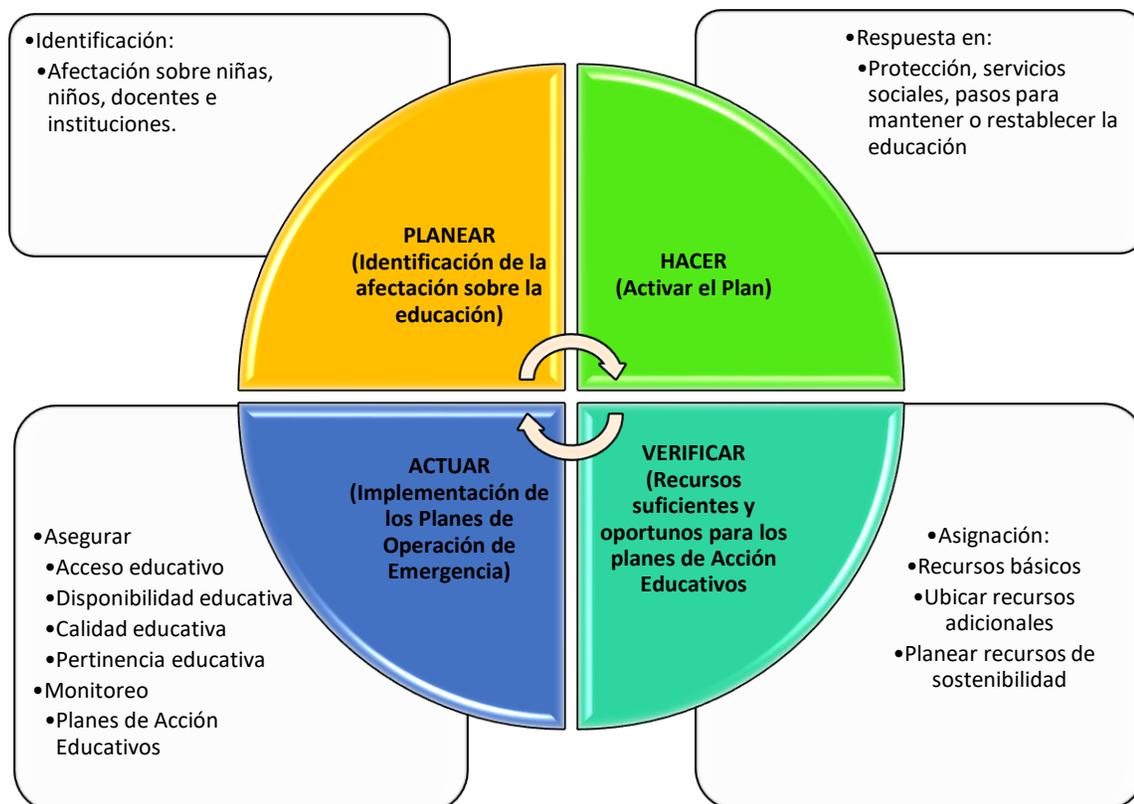
Si parte de la unidad educativa será utilizada como refugio durante o después de un evento de peligro natural, se deben incluir consideraciones especiales en el POE. Por ejemplo, se

deben establecer planes para almacenar cantidades adecuadas de agua, alimentos y medicamentos, proporcionar un suministro de energía adecuado como generadores de respaldo, entre otros puntos importantes. Los responsables de desarrollar los planes y garantizar que se lleven a cabo variarán según el contexto y deben identificarse.

Las autoridades, maestros y el demás personal dentro de la unidad educativa deben conocer sus principales funciones y recibir la capacitación correspondiente. Toda la comunidad escolar necesita practicar la respuesta a un evento para que todos reaccionen adecuadamente cuando ocurra un desastre. Las autoridades deben saber cómo interactuar con los socios en la comunidad, como son los bomberos, la policía y otro personal de emergencia. El POE también debe incorporar estrategias y actividades de preparación y mitigación escolar, y especificar políticas y protocolos de seguridad escolar actualizados.

Un POE es una buena manera para que el personal escolar piense y esté preparado para todos los problemas difíciles que traen los eventos de emergencia. También protege las inversiones financieras y ayuda a construir una cultura de seguridad personal en la comunidad escolar.

Figura 7

Esquema de atención a Emergencias

Nota: La figura presenta el ciclo de atención a emergencias. Adaptada de: Castillo et al. (2011).

Proceso para Desarrollar un Plan de Operación de Emergencia

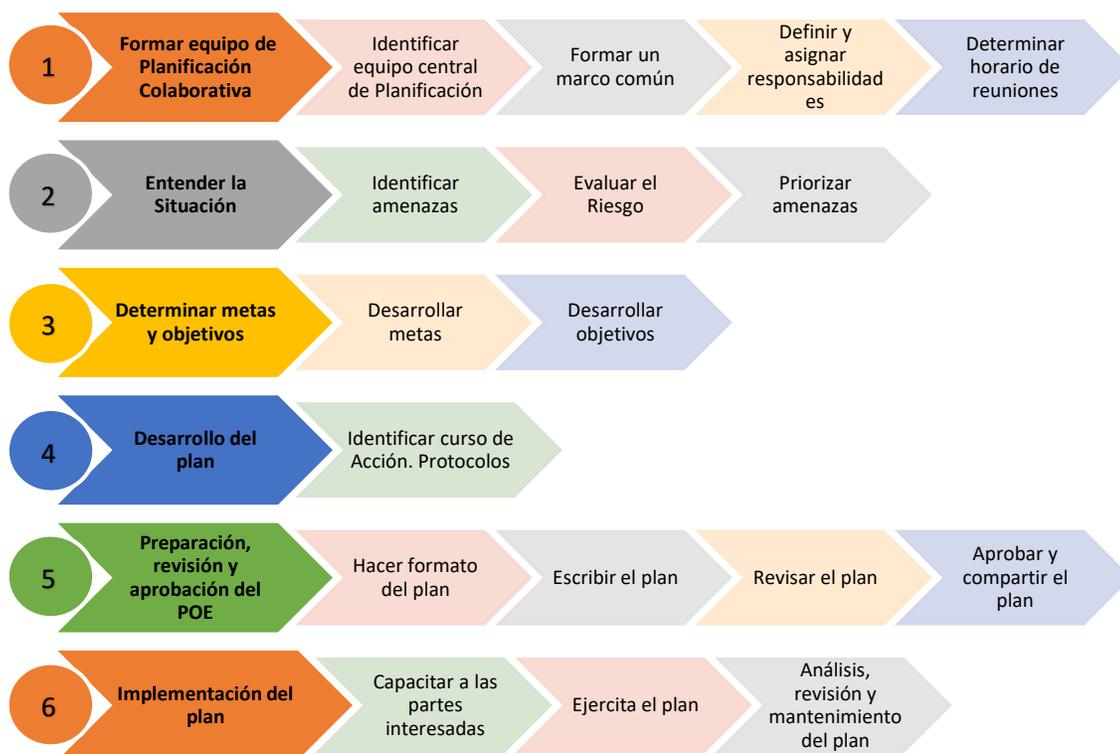
El POE se debe desarrollar por un equipo diverso de partes interesadas de la comunidad educativa con diferentes conocimientos y puntos de vista propios. El equipo puede incluir la participación de las autoridades, maestros, estudiantes, representantes legales, comunidad escolar que incluya personal con discapacidades y grupos minoritarios, se incluye además al personal de apoyo escolar como conductores de autobuses y maestros sustitutos. Involucrar a

los estudiantes en el desarrollo del POE (y la preparación general de seguridad) construye el liderazgo estudiantil, involucra a los jóvenes en la planificación del manejo de emergencias de la unidad educativa y promueve la preparación de los estudiantes.

La planificación de seguridad escolar implica una colaboración crítica con los servicios locales de respuesta a emergencias, grupos comunitarios, representantes legales y otras partes interesadas con las que la unidad educativa podría contar durante un evento de emergencia. Por ejemplo, un negocio cercano cuyo estacionamiento se utilizará para la evacuación es un miembro importante del equipo de planificación.

Figura 8

Pasos para desarrollar Plan de Operación de Emergencias (POE)



Nota: La figura presenta los pasos para desarrollar un plan de operaciones integral. Adaptada de U.S. Department of Education (2013).

Plan de Recuperación

Las acciones de recuperación generalmente comienzan después de que finaliza la fase de respuesta de emergencia. Si bien el período de respuesta de emergencia suele ser breve (dura solo minutos, horas, días o semanas), la recuperación puede llevar meses o incluso muchos años después de un evento importante. La recuperación generalmente se refiere a volver a unir una comunidad por un desastre. En el caso de las unidades educativas, el objetivo a menudo se centra en la restauración de la educación y el aprendizaje, así como en la recuperación de las personas que componen el sistema escolar.

La recuperación posterior al desastre suele ser más difícil y lenta de lo que la gente espera. Por lo tanto, la planificación de la recuperación, que incluye la comprensión de los diversos pasos, políticas, personas, costos y oportunidades involucradas en este proceso, puede facilitar enormemente la velocidad y la eficacia de las actividades de recuperación posteriores al desastre dentro de las unidades educativas y las comunidades circundantes.

De Vuelta a los Edificios

Evaluación Post Desastre.

Después de cualquier desastre natural, un primer paso es evaluar si los edificios escolares son seguros para retomar las actividades con normalidad. Estas evaluaciones generalmente son realizadas por funcionarios locales de construcción u otros expertos capacitados. Dependiendo del tipo de peligro natural, existen diferentes estándares técnicos

para estas evaluaciones de seguridad del edificio posteriores al evento para garantizar la consistencia y el rigor técnico.

Documentación Detallada

Es importante documentar daños a edificios, contenidos y equipos después de un desastre, pero antes de cualquier actividad sustancial de limpieza o reparación. La documentación del daño puede ser importante por muchas razones, principalmente en términos de recibir un seguro adecuado por artículos dañados. Esto implica una fotografía exhaustiva de todos los daños, así como la documentación del tiempo y los materiales dedicados a la respuesta y la recuperación. Idealmente, la documentación de daños también la realizan profesionales de diseño, que saben qué tipos de daños son los más preocupantes. La **Figura 9** muestra ejemplos de fotos que documentan daños por terremotos.

Figura 9

Daños en edificios en la Escuela 18 de octubre tras sismo 16A



Nota: La figura indica un ejemplo del registro gráfico documentado en una escuela, tras el sismo del 16 de abril. Recuperada de Tola (2016).

Reconstrucción Adecuada.

Después de un desastre, y previo a que los estudiantes y el personal vuelvan a las labores dentro de las instalaciones, los edificios a menudo necesitan ser reparados, en algunos casos modernizados o reemplazados. El tiempo y la financiación necesarios para este trabajo pueden variar enormemente dependiendo del daño que ocurra. En algunos casos, es posible que sea necesario reparar o reconstruir un edificio dañado de acuerdo con las últimas regulaciones y requisitos de construcción. Las reglas sobre qué nivel de daño activa estos requisitos varían significativamente entre las jurisdicciones; algunas comunidades pueden tener umbrales más bajos que otras. Si los edificios escolares también son estructuras históricas, pueden estar sujetos a un nivel diferente de umbrales que desencadenan estos requisitos. Los líderes escolares deben consultar con sus funcionarios locales del código de construcción sobre daños sustanciales y reglas de mejora que sean relevantes para ellos.

Para las unidades educativas que deben realizar reparaciones importantes o reconstruir uno o más edificios escolares; esta es la oportunidad para reconstruir mejor. Durante la recuperación, los miembros de la comunidad y las agencias gubernamentales estarán muy conscientes de la importancia y las consecuencias de los peligros naturales. Con la información adecuada, la promoción y el apoyo a nivel comunitario, pueden estar dispuestos a apoyar el diseño de edificios resistentes a nuevos desastres.

Adaptación.

Los líderes escolares deben hacer planes de contingencia en caso de que no puedan volver a ocupar algunos o todos sus edificios en un plazo razonable debido a la necesidad de reconstrucción. Estos planes pueden ir desde el uso de aulas modulares, hasta compartir

espacio temporalmente en otro campus de la unidad educativa, ocupar un edificio diferente al uso de la educación, hasta sistemas en línea que facilitan la continuidad educativa. Estos planes deben reflejar la probabilidad de daños a los edificios en función de las evaluaciones de vulnerabilidad ante los riesgos de los edificios escolares existentes. Es esencial que los líderes escolares planifiquen estas instalaciones o sistemas de respaldo, ya que esto es lo que puede garantizar continuidad educativa para estudiantes.

Unidades Educativas Como Refugios.

El papel de las unidades educativas en el restablecimiento de la rutina puede ser complicado por el hecho de que muchas comunidades las designan como refugios. A menudo, los edificios escolares son los únicos con grandes espacios de reunión, como gimnasios, auditorios y cafeterías. En consecuencia, las unidades educativas sirven de refugio durante los períodos de emergencia y recuperación temprana después del desastre.

Los administradores escolares deben consultar con los administradores locales de emergencias para determinar si las instalaciones pueden incluirse en los planes actuales de emergencia y recuperación de su comunidad y de qué manera. Los líderes y el personal del distrito escolar deben considerar contingencias para continuar la instrucción durante emergencias que pueden requerir el uso público de las instalaciones. Una vez que se establecen los planes de contingencia, es importante practicar cómo se llevarían a cabo estos planes durante los ejercicios y entrenamientos.

Planear Para la Próxima Amenaza.

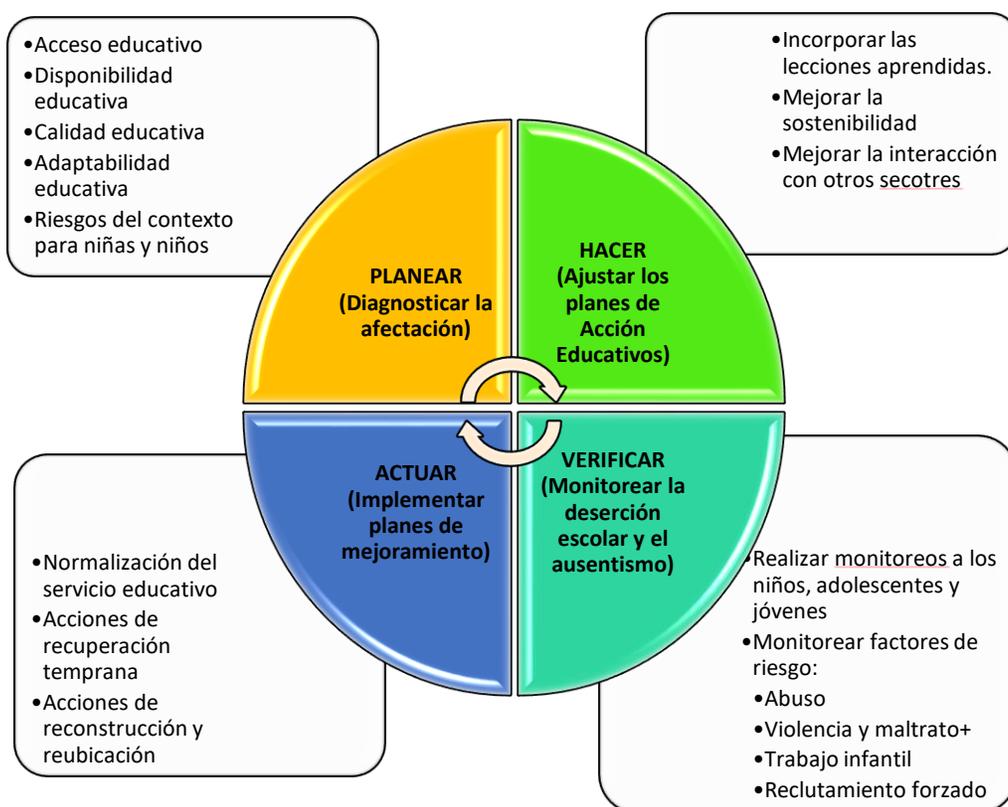
Incluso después de la recuperación completa de un evento, es importante dedicar tiempo a evaluar el proceso y los procedimientos utilizados para la preparación, respuesta y

recuperación ante emergencias. Se deben examinar los planes que incluyen políticas, procedimientos, roles, cadena de mando y anexos funcionales y de riesgo específico para evaluar qué funcionó y qué no. Los planes deben ser revisados para incorporar:

- Actualizaciones de toda la información de contacto de todos los líderes, socios y socorristas.
- Revisiones de actividades clave de respuesta, como rutas y sitios de evacuación;
- Cambios en los edificios, el campus escolar, y la comunidad en general.
- Cambios en las políticas y procedimientos de la unidad educativa.
- Lecciones aprendidas y cualquier problema que se haya pasado por alto en el plan original.

Una vez que se actualizan los planes, se deben realizar reuniones informativas para comunicar las modificaciones y mejoras del plan a las principales partes interesadas, el personal y los estudiantes, así como a los medios de comunicación, los padres y los funcionarios locales. Este tipo de divulgación fomenta la participación de los interesados y brinda una oportunidad para el diálogo con la comunidad en general.

Si es posible, las unidades educativas también deben mantener notas detalladas sobre cómo fue la respuesta y la recuperación durante el evento real. Esto garantizará que se puedan recordar detalles importantes más adelante cuando se evalúe cómo se podrían mejorar los planes y las actividades de respuesta. Algunos funcionarios de emergencias invitan a investigadores y científicos sociales capacitados para tomar notas de campo sistemáticas para observar actividades de respuesta y recuperación.

Figura 10*Esquema de Post- Emergencia*

Nota: La figura presenta el ciclo de Post emergencia. Adaptada de: Castillo et al. (2011)

Involucrando a la Comunidad***El Enfoque de Toda la Comunidad***

Durante casi una década, FEMA promueve el enfoque de "comunidad unida" para el manejo de emergencias. Este enfoque reconoce que todos los recursos y diversos segmentos de

la comunidad deben participar plenamente para prepararse, protegerse, responder, recuperarse y mitigar de manera más efectiva todos los peligros. El enfoque de toda la comunidad reconoce y abarca la diversidad en su sentido definitorio más amplio, que incluye una variedad de representantes de la organización, pero también reenfoca los esfuerzos para garantizar que los miembros de comunidades históricamente marginadas se incluyan en las discusiones y que sus voces sean escuchadas y respetadas.

El enfoque de toda la comunidad debe tener presente la idea de que todos sus miembros necesitan tener una voz, ya que ellos y los líderes de la comunidad están mejor situados para identificar los activos, capacidades, intereses, necesidades y objetivos locales. En pocas palabras, son los expertos en su propia comunidad local y, por lo tanto, deberían participar en el proceso de planificación de desastres.

Comprender las Necesidades Reales de Toda la Comunidad.

La participación de la comunidad puede conducir a una comprensión acertada de las necesidades de una población, incluidos sus datos demográficos, valores, normas, estructuras comunitarias, redes y relaciones. Esto permitirá una mejor comprensión de las necesidades de seguridad de la vida de la comunidad y sus motivaciones para participar en actividades relacionadas con el manejo de emergencias antes de un evento.

Involucrar y Empoderar a Todas las Partes de la Comunidad.

Involucrar a toda la comunidad y potenciar la acción local posicionará mejor a las partes interesadas para planificar y satisfacer las necesidades de la comunidad. Este tipo de compromiso también fortalecerá la capacidad local para hacer frente a las consecuencias de diversas amenazas y peligros. Esto requiere que todos los miembros de la comunidad formen

parte del equipo de gestión de emergencias. Cuando la comunidad se involucra en un diálogo auténtico, se empodera para identificar sus necesidades y los recursos existentes que pueden utilizarse para abordarlas.

Fortalecer lo que Funciona Bien en las Comunidades Diariamente.

Un enfoque de toda la comunidad para desarrollar la resiliencia comunitaria requiere encontrar formas de apoyar y fortalecer a las instituciones, los activos y las redes que ya funcionan bien en las comunidades y están trabajando para abordar cuestiones que son importantes para los miembros de la comunidad a diario. Las estructuras y relaciones existentes que están presentes en la vida cotidiana de las personas, familias, empresas y organizaciones antes de que ocurra un incidente se pueden aprovechar y potenciar para actuar de manera efectiva durante y después de un desastre.

Una comunidad involucrada aumenta el apoyo para la financiación necesaria, mejora la planificación de emergencias al involucrar una gama más amplia de voces y hace que la respuesta y la recuperación sean más eficientes y efectivas porque los miembros de la comunidad saben qué esperar, y toman medidas para ayudar a las unidades educativas y a los líderes escolares. La participación de una amplia gama de interesados de la comunidad no solo mejora la preparación para la seguridad escolar, sino que su participación mejora la credibilidad institucional y amplía la capacidad de la institución para recurrir a un conjunto ampliado de recursos: humanos, financieros, y material, cuando ocurre un desastre.

Involucrar a la comunidad antes de un evento de peligro puede ayudar a construir una cultura de preparación que mueva a las unidades educativas de una respuesta reactiva a una mentalidad de planificación proactiva para crear y mantener la seguridad para toda la

comunidad escolar. Los líderes escolares a menudo interactúan efectivamente con los padres, las universidades cercanas y el manejo local de emergencias.

Comprometer a los Socios de la Comunidad

Después de un desastre, un gran número de individuos, organizaciones, agencias y profesionales de gestión de desastres se unen rápidamente para responder. Algunos recurren a las necesidades inmediatas de respuesta de seguridad de la vida, y otros se centran en la gestión efectiva de la respuesta operativa de un distrito escolar y la seguridad de las instalaciones. Aquellos involucrados en el período de planificación previa al desastre a menudo continúan desempeñando funciones activas durante la respuesta y durante todo el período de recuperación.

Debido a la cantidad de personas y organizaciones involucradas a lo largo del ciclo de vida del desastre, las relaciones deben construirse y mantenerse activamente a lo largo del tiempo; esto se puede lograr mediante la participación de socios locales y partes interesadas de la comunidad en una variedad de eventos que se centran en la preparación y la educación sobre los peligros naturales, que pueden incluir conmemoraciones de eventos perjudiciales pasados o participación en simulacros. Independientemente de lo que decida hacer la unidad educativa, ya sea un evento anual o una reunión semanal, este es el momento de ser creativos en términos de diseño de actividades de divulgación y construcción de relaciones que tengan sentido en la cultura de la comunidad local y puedan sostenerse durante más tiempo.

Hay muchas partes interesadas diferentes que los líderes escolares deberían considerar involucrar. La priorización de estos diferentes grupos y entidades puede variar según el distrito

escolar. La información sobre socios potenciales se proporciona en las siguientes subsecciones.

Dado que su nivel de importancia variará según la comunidad, y estos son:

Niñez y Adolescencia.

Los estudiantes tienen un papel importante en la seguridad de su unidad educativa y comunidad, tal trabajo es fundamental para su desarrollo como ciudadanos y forma parte de su responsabilidad ética y moral con ellos mismos, sus compañeros y el personal escolar. Existen límites de seguridad que se debe considerar en la participación de los estudiantes en el manejo de emergencias, las unidades educativas deben asignar la participación de este grupo en las actividades de mitigación, preparación, respuesta y recuperación; esto permite a los estudiantes oportunidades únicas de aprendizaje y liderazgo. El día de una emergencia importante, las unidades educativas necesitan toda la asistencia coordinada que pueden recibir de los estudiantes capacitados y esto permitirá que puedan capacitarse aún más, al momento de desempeñar su rol si se brinda las herramientas y la confianza de los adultos para hacerlo.

Figura 11

Conformación de brigadas de seguridad escolar conformada por estudiantes



Nota: La figura muestra un ejemplo de conformación de brigadas de estudiantes en escuela “Valentín Zamora Orozco” (México). Recuperado de La jornada (2020).

Profesionales de Diseño.

Los profesionales del diseño, como ingenieros y arquitectos, pueden ser socios valiosos para ayudar a mantener seguros a los estudiantes y al personal escolar. Pueden ayudar a determinar las vulnerabilidades previas al evento de un edificio escolar y proporcionar recomendaciones para mejorar la seguridad de la unidad educativa. Para la construcción de nuevos recintos escolares, también pueden proporcionar orientación sobre las decisiones que afectan los aspectos ambientales, de salud y seguridad. Los profesionales del diseño también desempeñan un papel fundamental en la evaluación de la seguridad y la gravedad de los daños a los edificios después de un desastre.

Profesionales de la Educación.

La amplia gama de profesionales que trabajan en educación puede ofrecer recursos y orientación sobre políticas, relaciones con las partes interesadas, continuidad de los programas académicos y más. Estas entidades son de gran ayuda para elaboración de los planes de manejo de emergencias escolares y trabajan a través del proceso de preparación, pueden incluir equipos de liderazgo del distrito escolar, miembros de la junta escolar, administradores y personal, miembros del equipo de seguridad escolar, del equipo de crisis escolar, agentes de salud mental, gerentes de riesgos, y portavoces educativos.

Funcionarios Electos.

Los líderes elegidos dentro de una comunidad a menudo forman parte de la junta escolar, y son autoridades como alcalde, administrador de la ciudad, legisladores, miembros del

consejo de la ciudad y los comisionados de la provincia. Estas personas a menudo se preocupan profundamente por la calidad y la funcionalidad de las unidades educativas locales, y pueden participar activamente con los representantes del sistema escolar para crear conciencia y apoyo para las actividades de planificación, preparación, respuesta y recuperación.

Profesionales de Gestión de Riesgos.

Los profesionales de gestión de emergencias locales pueden proporcionar información invaluable a las unidades educativas sobre las actividades de preparación, respuesta y mitigación. Los líderes escolares deben tener un estrecho lazo con los líderes de los departamentos de bomberos, departamento de emergencias, servicios médicos, ya que estos son los servicios de primera línea que pueden brindar una primera respuesta que salva vidas y también pueden ayudar a la institución durante el proceso de recuperación.

Empresas e Industrias Locales.

Los miembros del sector privado a menudo realizan donaciones generosas a los esfuerzos de la unidad educativa, ya sea financiando equipos deportivos de la secundaria o proporcionando comida gratis en los conciertos de la banda de la primaria. Cultivar este tipo de relaciones puede ayudar a asegurar contribuciones para mitigación, respuesta o costos de recuperación.

Hospitales Locales.

Dentro de un hospital, la administración, el personal y los médicos de atención primaria son actores vitales para ayudar en una respuesta y recuperación coordinadas e integradas, particularmente durante emergencias a gran escala. Durante las actividades de preparación, pueden proporcionar a los equipos de planificación escolar orientación valiosa sobre los riesgos

de atención médica y la planificación de prevención, así como colaborar en los protocolos y procedimientos de respuesta médica (por ejemplo, triaje) que funcionan de manera más efectiva para esa unidad educativa.

Jurisdicción Local Agencias Públicas.

Los departamentos de las agencias públicas de jurisdicción local, como los servicios de obras públicas, planificación, salud pública, atención médica y apoyo familiar, brindan servicios especializados a sus jurisdicciones e instalaciones y poblaciones comunitarias clave. Estos departamentos y agencias locales a menudo son socios naturales para las unidades educativas, ya que a menudo se centran ampliamente en la salud, la vitalidad y la sostenibilidad de las comunidades locales.

Medios de Comunicación.

Es útil desarrollar relaciones sólidas y asociaciones estratégicas con representantes clave de los medios y personas influyentes en las redes sociales antes de un evento. Los periodistas y otros miembros de los medios de comunicación incluidos los medios tradicionales impresos y de difusión tienen un enorme poder en términos de informar al público sobre cuestiones urgentes y en última instancia, dar forma a las agendas políticas y sociales locales.

En tiempos de desastre, los medios de comunicación a menudo interactúan entre los administradores escolares y el personal, los estudiantes, las familias y los miembros de la comunidad. Como tal, es crucial construir relaciones con los medios para ayudar a cubrir los problemas asociados con las unidades educativas de manera exhaustiva y reflexiva. En el entorno actual, que ha estado marcado por un aumento del riesgo, los funcionarios escolares deben estar preparados para que los medios locales (y quizás incluso los nacionales) se

interesen en los problemas de seguridad escolar. Los canales de las redes sociales tienen una gran tendencia con publicaciones y mensajes centrados en temas y problemas críticos para el evento, la respuesta y la recuperación del desastre.

Los profesionales de los medios de comunicación no son expertos en riesgos naturales y pueden estar limitados en su comprensión. Por lo que, al realizar preguntas esperan la verdad, incluidas las cosas que desconocen. La divulgación oportuna de la información precisa debe proporcionarse a la prensa formal y a todas las personas interesadas que puedan estar cubriendo los eventos.

Padres y Representantes Legales

Los padres, tíos, abuelos y otros cuidadores o representantes legales son partes interesadas clave en la vida de los niños, al invertir en el futuro de los niños brindan una amplia gama de experiencia, apoyo educativo y recursos que pueden aprovecharse para actividades de preparación. Los padres también pueden servir como defensores para hacer cumplir la seguridad en las unidades educativas a través de canales legislativos.

Comunicación con la Comunidad

La comunicación es un componente fundamental de las actividades de preparación, respuesta y recuperación. Por lo tanto, es importante que las unidades educativas realicen campañas de preparación, eventos especiales, clases educativas, diálogos en las redes sociales y otros compromisos previos al desastre antes de que ocurra un evento para construir una cultura de seguridad integral.

La entrega de un mensaje claro, consistente y procesable a través de muchas voces confiables crea conciencia y aceptación. La repetición conduce el mensaje a casa. Los mensajeros confiables ayudan a que el mensaje sea inmediato y relevante

Algunas de las mejores prácticas para comunicarse con las partes interesadas incluyen:

- Comprometerse tanto con partes interesadas formales (designadas, autorizadas) como informales (personas locales confiables).
- Use enfoques de comunicación innovadores y localmente apropiados para personalizar el alcance y hacerlos relevantes para la comunidad escolar en general.
- Vincular las actividades de la comunidad local con las actividades de preparación escolar en caso de desastre.
- Construir una coordinación sostenida y compartir recursos.

Los temas clave de preparación y respuesta para comunicar incluyen:

- Notificaciones de esfuerzos de planificación y oportunidad de participación
- Conciencia y mensajes educativos sobre peligros y riesgos relevantes;
- Explicaciones de los protocolos y procedimientos de respuesta a emergencias;
- Herramientas y plataformas tecnológicas utilizadas (o consideradas) por funcionarios escolares y personal de respuesta
- Recursos disponibles de la unidad educativa / comunidad en caso de un desastre
- Actualizaciones sobre proyectos de mitigación o reconstrucción en curso.

Antes del Evento.

A medida que la unidad educativa toma medidas para comprender, planificar y reducir los riesgos de peligros naturales, es valioso comunicarse regularmente con una amplia gama de partes interesadas. La comunicación sobre peligros, riesgos y planes de emergencia se puede hacer como parte de campañas informativas de preparación, mientras se realizan eventos y clases especiales, a través de diálogos en las redes sociales.

A medida que los líderes escolares, el personal, los estudiantes, los padres y otros aprenden sobre los peligros y las posibles consecuencias de estos eventos, deben compartir ese conocimiento con los miembros de la comunidad. También es valioso notificar a las partes interesadas de la comunidad sobre los esfuerzos de planificación y las oportunidades de participación y retroalimentación. Si la unidad educativa será usada como refugio de evacuación, es importante planificar con anticipación con los líderes de la comunidad cómo se operará y administrará el refugio, cómo se limpiará el espacio y cómo se manejarán los gastos. La planificación del refugio ayuda a acelerar la reanudación de las operaciones escolares. Los planes, protocolos y procedimientos de respuesta a emergencias deben compartirse públicamente a los miembros de la comunidad, especialmente los padres para saber qué esperar y hacer cuando ocurre un desastre.

Si la unidad educativa identifica una preocupación importante de seguridad, como una deficiencia estructural grave en un edificio escolar, es esencial comunicar esta información a la comunidad de una manera honesta, clara y productiva. Muchas instituciones encuentran que compartir información sobre las posibles soluciones al mismo tiempo que la información sobre los riesgos es realmente tranquilizadora para los padres y otros miembros de la comunidad. Sin

embargo, la urgencia de esta información requiere informar a la comunidad lo antes posible, en lugar de esperar a que se perfeccionen los planes para abordar estos problemas de seguridad.

La divulgación y educación a las principales partes interesadas de la unidad educativa asegura que la comunidad en general tenga información actualizada sobre los peligros, riesgos y planes de emergencia existentes o en desarrollo. Las comunicaciones en curso fomentan el intercambio interactivo. Debido a que muchas comunidades son multiculturales, multilingües y tienen una amplia gama de diversidad socioeconómica, tener una estrategia de comunicación que utilice una variedad de canales de distribución tendrá un mayor éxito.

Durante la Emergencia y Fase de Recuperación.

La comunicación honesta y transparente con las partes interesadas internas y externas es esencial durante la emergencia y en la fase de recuperación. Preguntas tales como “¿Cómo afectará esto a mi hijo? ¿Cuándo comienza de nuevo la unidad educativa? ¿Se puede arreglar la unidad educativa? pueden ser comunes. Una comunicación clara debe informar a la comunidad sobre el progreso y los éxitos, así también las necesidades, preocupaciones y problemas. El alcance reduce la especulación irresponsable e inexacta y mantiene a las partes interesadas, particularmente a los padres, enfocadas en los programas de aprendizaje y el proceso de recuperación escolar. Además, tener un plan de comunicaciones puede ayudar a simplificar las respuestas a numerosas consultas de los medios que a menudo siguen.

Los siguientes son algunos consejos para comunicarse después de un desastre:

- Brindar información oportuna y precisa.

- Responder a las preguntas de manera honesta, en caso de desconocer alguna respuesta decir "No lo sé, pero le responderé".
- Reconocer a aquellos que fueron parte en la respuesta y los esfuerzos de recuperación, así como a los fallecidos, si es el caso.
- Mantener diálogo continuo e interactivo entre la unidad educativa y las partes interesadas.
- Enfatizar constantemente una sensación de cuidado y compasión.
- Abordar rápidamente los rumores.
- Proporcione un contacto principal con la información necesaria para preguntas.

Después de la Fase de Recuperación.

Seguir junto a la comunidad después de la fase de recuperación es una excelente manera de hacer que toda la comunidad sea más resistente al próximo evento. La oportunidad de aprender de la experiencia y compartir ideas sobre cómo prepararse y responder mejor la próxima vez es invaluable, y de reflexionar sobre cómo mejorar y abogar por la mejora a menudo es recibido por una audiencia entusiasta dispuesta a compartir sus ideas.

Herramientas y Tecnológica para una Comunicación Efectiva

Los distritos escolares están ampliando el uso de herramientas y tecnologías para comunicar alertas y advertencias durante la fase de emergencia, mientras continúan confiando en estos enfoques durante el período de recuperación posterior al desastre a más largo plazo. Cada distrito escolar está mejor posicionado para identificar el método más efectivo para su

población. Sin embargo, los métodos más utilizados para comunicarse con la comunidad escolar incluyen:

- Altavoces fuertes (internos)
- Boletines enviados a los hogares o materiales distribuidos entregados o publicados en las unidades educativas
- Mensajes de texto
- Sistemas telefónicos electrónicos automatizados (por ejemplo, Líneas directas informativas, líneas telefónicas electrónicas, llamadas automáticas y sistemas interactivos de respuesta de voz)
- Correos electrónicos, sitios web o redes sociales
- Aplicaciones móviles.

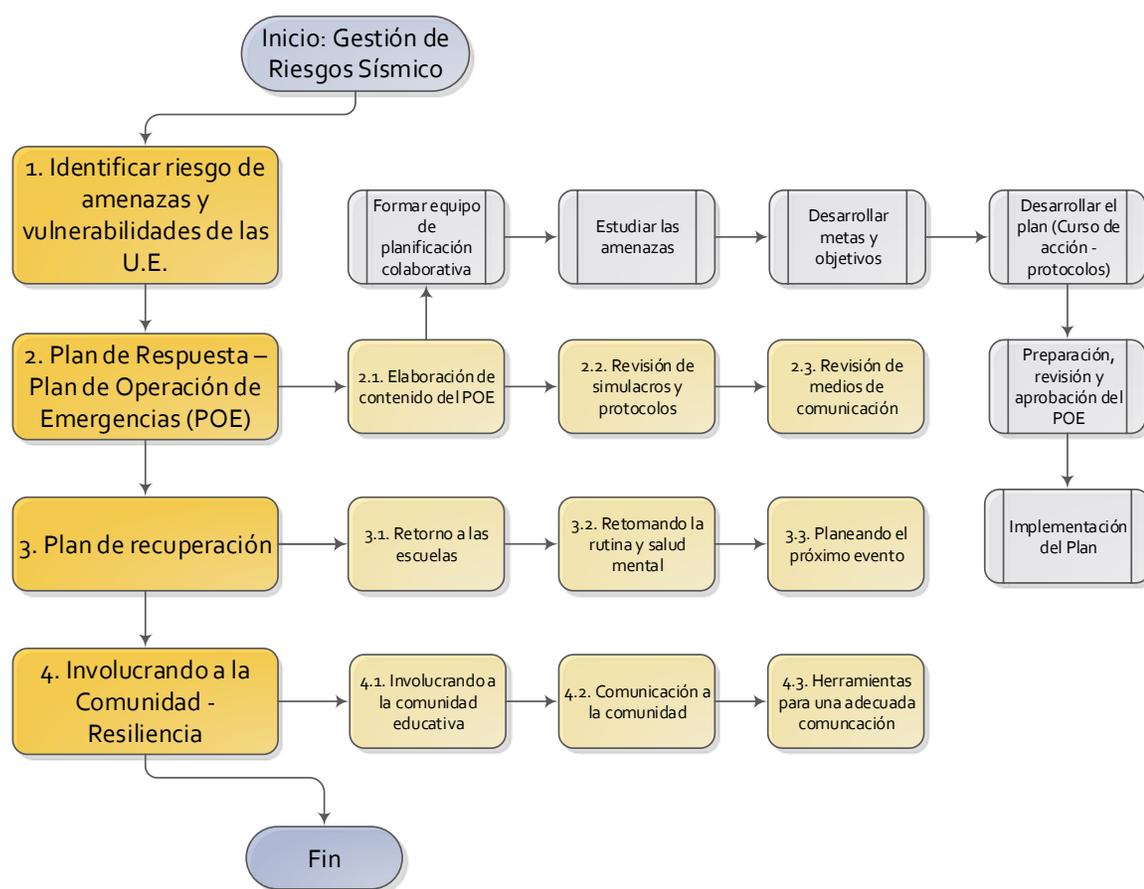
Con el aumento en el uso de teléfonos inteligentes, las redes sociales ahora son un recurso de distribución de información de referencia. Las plataformas de redes sociales permiten que las unidades educativas entreguen información de manera rápida y oportuna, cubran más distancia geográfica y apunten más efectivamente a audiencias específicas que los medios tradicionales. Durante un evento, es esencial monitorear, responder y distribuir información a través de las plataformas de redes sociales que se utilizan de manera más prominente no solo en la comunidad local y regional, sino también a nivel nacional e internacional. Los líderes escolares deben considerar nombrar a un equipo para administrar la participación en las redes sociales de la unidad educativa. Independientemente del canal de comunicación o del enfoque del equipo de respuesta, las unidades educativas deben realizar un

seguimiento del compromiso (mensajes enviados, llamadas, rueda de prensa) con todos los medios.

Resumen del Capítulo

Figura 12

Gestión de riesgo sísmico según FEMA P-1000



Nota: Esta figura indica el flujo para desarrollar una adecuada gestión de riesgos.

Una adecuada gestión de riesgos para las unidades educativas permitirá salvaguardar la vida de estudiantes, profesores, personal administrativo, de servicios, entre otros, durante una

emergencia mediante una planificación ordenada dentro de todas las fases del Plan de Operación de Emergencias siempre y cuando se involucre a toda la comunidad educativa. En el siguiente capítulo se presenta el estudio de la amenaza sísmica dentro de la zona de estudio (Sangolquí), para que en base a esos parámetros se pueda desarrollar adecuadamente el Plan de Operación de Emergencias (POE), y la evaluación de vulnerabilidad de las unidades educativas de acuerdo a los parámetros geológicos y geográficos en el cual están ubicados.

Características Sísmicas de Sangolquí

Ubicación Geográfica

El Cantón Rumiñahui, fundado el 31 de mayo de 1983 se encuentra en el Valle de los Chillos y es uno de los ocho cantones que conforman la Provincia de Pichincha. Su cabecera cantonal es la Parroquia Urbana Sangolquí, actualmente considerada como una de las urbes con un continuo desarrollo en el país, está ubicada aproximadamente a una hora de Quito, ciudad con la que mantiene vínculos geográficos, históricos y poblacionales. El Cantón Rumiñahui, con una extensión de 135.7 km² tiene sus límites indicados en la siguiente tabla.

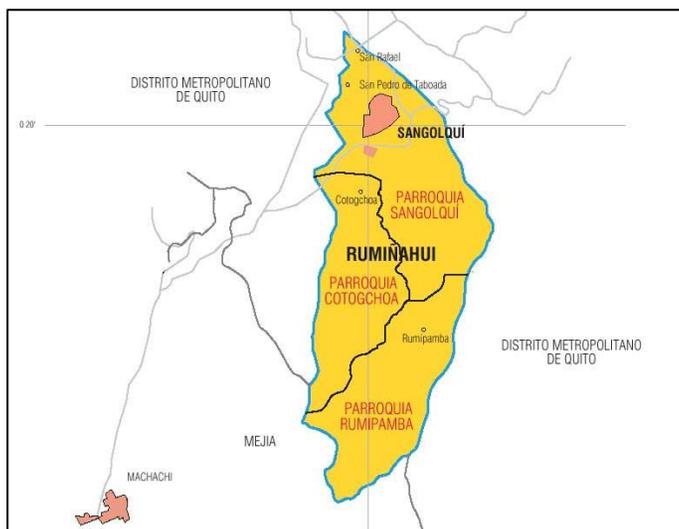
Tabla 9

Límites del Cantón Rumiñahui

Punto	Ubicación
Norte	Distrito Metropolitano de Quito, el río San Pedro es el límite natural entre estos dos cantones los cuales se encuentran unidos por la Autopista Gral. Rumiñahui
Sur	Cantón Mejía y el Cerro Pasochoa
Este	Parroquia de Alangasí y Pintag el límite natural es el Río Pita.
Oeste	Distrito Metropolitano de Quito Exactamente con las parroquias de Amaguaña y Conocoto, el límite natural es el río San Pedro.

Nota: Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui (2012)

Rumiñahui se encuentra conformado por dos parroquias rurales que son: Cotogchoa y Rumipamba y tres parroquias urbanas: Sangolquí, San Pedro de Taboada y San Rafael.

Figura 13*División política del cantón Rumiñahui*

Nota: La figura indica la división política del cantón Rumiñahui. Recuperado de Fiallos Rúaes (2016).

Tabla 10*Organización territorial, área y densidad poblacional*

Parroquias	Área (km ²)	Población (hab.)	Densidad Poblacional (hab./km ²)
Cotogchoa	35,4	3937	111
Rumipamba	42,4	775	18
Sangolquí	50,2	59196	1179
San Pedro de Taboada	4,9	11982	2445
San Rafael	2,8	9952	3554
TOTAL	135.7	85842	633

Nota: Adaptado de Tibanlombo y Villacís (2013).

En el mapa geológico de Sangolquí (**Figura 14**) se puede identificar las formaciones geológicas (**Tabla 11**) y las unidades geológicas presentes en Sangolquí en la **Tabla 12**.

Tabla 11

Formaciones geológicas en el mapa geológico de Sangolquí Esc: 1:50 000

Formación	Característica	Observación
Guayllabamba	Estratigrafía aluvial compuesta por bloques de forma redondeada. También cuenta con flujos consolidados de lodo, material producto de avalanchas, lava y material piroclástico.	Espesor de la formación varía entre 50 a 400 metros
Chiche	Conglomerados con arena y areniscas gruesas. Usualmente material disperso a lo largo de la superficie.	Se pueden encontrar materiales como obsidiana, diatomitas y grauvaca.
Cangagua	Conformado por tobas alteradas eólicamente por la caída de cenizas. Tobas de color café combinadas con piedra pómez y flujos de lodos	El espesor varía de acuerdo a la ubicación del material; valles con un espesor de 50m y en las partes más altas de 20 a 30 m.
Depósitos Laháricos	Producto de la actividad volcánica del Cotopaxi, material comprendido por grandes bloques de canto rodados.	Material que se lo puede encontrar erosionado o cubierto por formaciones de cangagua en espesores que varían entre 1,0 a 40,0 m

Formación	Característica	Observación
Terrazas indiferenciadas:	Grandes depósitos de grava y arena bien clasificada. Bloques de 2,0 a 3,0 m de diámetro que se alojan en quebradas, también se las puede encontrar combinado con fragmentos de lava.	Espesor que oscila entre 14 a 100 m
Depósitos aluviales:	Originarios de las redes de drenaje del Cotopaxi, comprendidos de cantos y aglomerados de origen volcánico.	

Nota: Adaptado de Núñez Naranjo (2016).

Tabla 12

Unidades geológicas localizadas en la Parroquia Sangolquí

Unidades Geológicas	Sectores donde se puede encontrar
Terraza, grava (Arena estratificada).	Lugares en el valle del Río San Pedro (sector Mirasierra y El Triángulo) donde ocurren depósitos de grava y arena. Generalmente son bien clasificados y estratificados y están compuestos de fragmentos de lava en una matriz arenosa. Al Noreste de Conocoto existen bloques grandes de 2 a 3m de diámetro que se puede ver en las canteras.
Lahar con bloques.	Esta unidad se extiende en gran parte del valle, en el norte de Sangolquí, en la Armenia, Guangopolo y Ushimana. En la zona norte de Sangolquí, con dirección a Cumbayá, existe una capa con espesor variable de 0 a 4m de bloques, cantos y piedras en una matriz tobácea y sin estratificación.

Unidades Geológicas	Sectores donde se puede encontrar
Ceniza, capas de pómez y sedimentos Chiche.	Este nombre lo toma del río del mismo nombre. Los sedimentos consisten en conglomerados redondos, arenas gruesas duras y capas de ceniza y toba bien estratificadas. Se extienden en las parroquias de Alangasí, Concepción y Píntag.

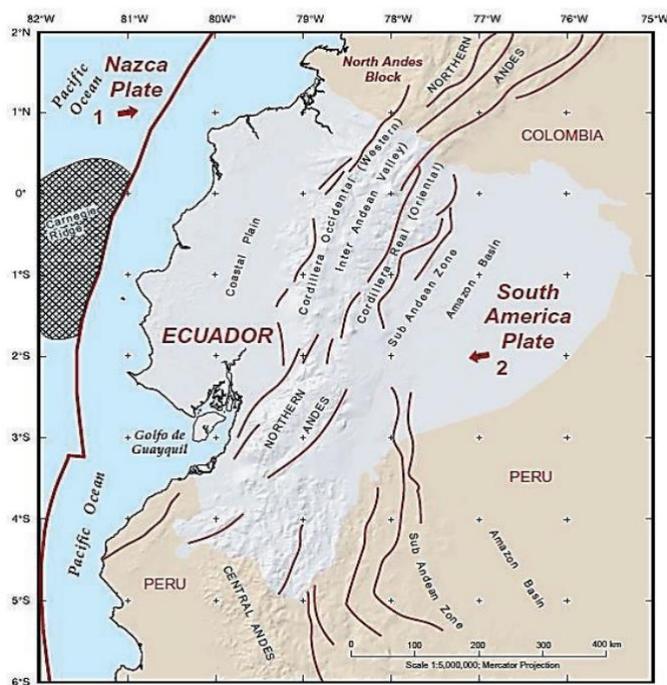
Nota: Adaptada de: García Román y Padrón Bustos (2016).

Fallas Geológicas

La zona interandina del Ecuador está atravesada por un conjunto de fallas activas e inactivas (**Figura 15**) las cuales han sido las causantes de devastadores terremotos.

Figura 15

Fallas geológicas en el valle interandino Ecuador



Nota: La figura muestra las principales fallas del país. Recuperado de Chicaiza Bósquez (2016).

Falla de Quito (Segmento Puengasí).

Sangolquí, está situada sobre uno de los segmentos de la falla inversa de Quito, esto quiere decir que el bloque de Quito se levanta respecto al bloque del Valle de Los Chillos en contra de la fuerza de gravedad por fuerzas de compresión tectónica, sumado a la historia geológica de los dos bloques dan como resultado que Quito tenga una diferencia de nivel con respecto al del Valle de los Chillos de unos 400 m (Yepes, 2014).

Según Alvarado et al. (2014) el sistema de fallas de Quito consiste en un sistema transcurrente con rumbo NS, y un ángulo de buzamiento de 55° hacia el oeste de una falla ciega inversa. Su afloramiento en la superficie es un segmento de pliegues con una longitud mayor a 60km. Cada segmento tiene una compresión y una componente secundaria transcurrente dextral. La tasa de deslizamiento medido con GPS para la falla de Quito varía entre 3.0 y 4.0 mm/año.

En el caso de acontecer una ruptura de todos los segmentos de falla como lo son Puengasí, Ilumbisí - La Bota, Carcelén - El Inca, Bellavista - Catequilla y Tangahuilla, con una longitud total de falla de 60 km y un área de ruptura cerca de 720 km², podría desencadenar un evento de magnitud Mw 6.8 (RA)⁷ y 7.1 (SRL)⁸, con un periodo de recurrencia entre 195 y 235 años (Alvarado et al., 2014).

⁷ **Magnitud (RA):** Magnitud de evento sísmico debido al área de ruptura de falla.

⁸ **Magnitud (SRL):** Magnitud de evento sísmico en función de la longitud de ruptura.

Sin embargo, una ruptura de segmentos individuales del Sistema de fallas de Quito es posible, siendo el más crítico el segmento de falla de Puengasí que presenta una longitud de 22 km y un área de ruptura de 259 km², que podría generar un evento de magnitud Mw 6.4 (RA) y 6.4 (SRL) con un periodo de recurrencia de 188 años (Véase **Tabla 13**)

Los resultados Mw obtenidos son las magnitudes máximas de acuerdo a las ecuaciones de Leonard (2012) para fallas Inversas.

$$M_{W_{SRL}} = 1.52 \log(L) + 4.4 \quad (1)$$

$$M_{W_{RA}} = 1.0 \log(A) + 4 \quad (2)$$

Tabla 13

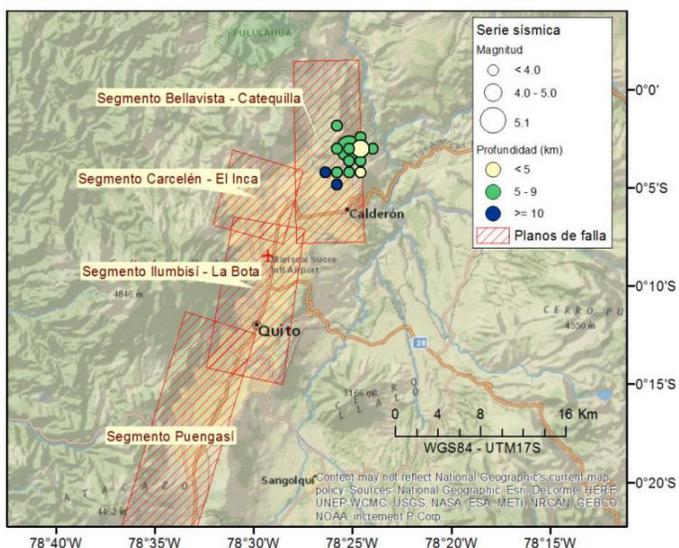
Segmentos de falla de Quito y magnitud de eventos (RA) y (SRL)

Segmentos falla de Quito	Área de Ruptura	Magnitud (RA)	Longitud de Ruptura	Magnitud (SRL)	Periodo de Recurrencia
Puengasí	259	6.40	22.00	6.40	188
Ilumbisí - la Bota	176	6.20	15.00	6.20	138
Carcelén – El Inca	82	5.90	7.00	5.70	105
Bellavista - Catequilla	191	6.30	17.50	6.30	183
Tangahuilla	108	6.00	12.00	6.00	115

Nota: Recuperado de Chicaiza Bósquez (2016).

Figura 16

Falla de Quito y segmentos



Nota: La figura muestra la falla de Quito y sus segmentos principales. Recuperado de Aguiar et al. (2014)

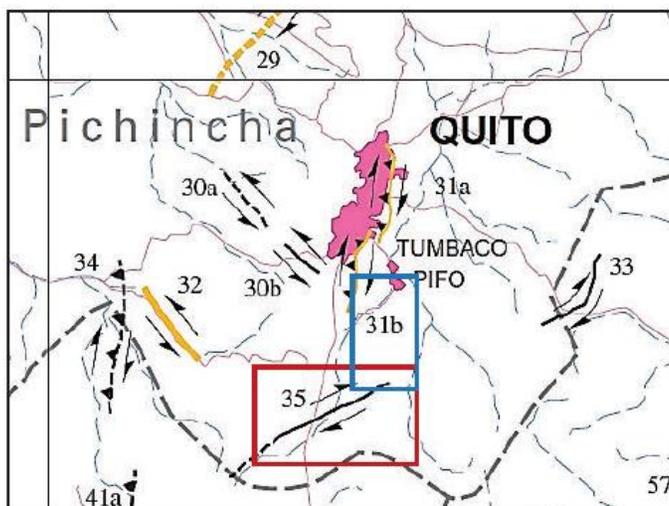
Falla de Machachi.

La falla de Machachi presenta depósitos de cangahua y piedra pómez además de ceniza proveniente del volcán Cotopaxi. Esta falla se observa claramente en el flanco NW del volcán Rumiñahui.

En la **Figura 17** se puede identificar la falla de Machachi (35), la cual es del tipo transcurrente dextral, su ángulo de buzamiento es desconocido, posee una longitud de 22.72 km con un Rumbo $N60^{\circ}E12^{\circ}$; se asocia a fallas menores y secundarias normales y reversas, se estima que la velocidad de desplazamiento es menor a 1mm/año y tiene una gran incidencia a la zona del Valle de los Chillos debido a su proximidad (Chicaiza Bósquez, 2016).

Figura 17

Falla de Machachi (recuadro rojo)



Nota: La figura muestra la falla de Machachi que es cercana al cantón Quito. Recuperada de Egüez et al. (2003).

Según los datos obtenidos de la tesis de pregrado de Chicaiza Bósquez (2016) para determinar el ancho de esta falla transcurrente se calcula mediante la fórmula:

$$\log(W) = 0,667 * \log(L) + 1.18 \quad (3)$$

Además, los resultados M_w obtenidos son las magnitudes máximas de acuerdo a las ecuaciones de Leonard (2012) para fallas transcurrentes.

$$M_{w_{SRL}} = 1.52 \log(L) + 4.33 \quad (4)$$

$$M_{w_{RA}} = 1.0 \log(A) + 3.99 \quad (5)$$

Se ha calculado un ancho de falla $W=12.18$ km y un área de ruptura de $276,78$ km² con magnitudes de los eventos de $M_w = 6.4$ (SRL) y $M_w = 6.4$ (RA).

Tabla 14

Falla de Machachi y Magnitud de eventos (RA) y (SRL)

Falla	Área de Ruptura	Magnitud (RA)	Longitud de Ruptura	Magnitud (SRL)	Periodo de Recurrencia
Falla de Machachi	276.78	6.40	22.72	6.40	538

Nota: Adaptada de Chicaiza Bósquez (2016).

Requisitos de Seguridad en el Diseño Basado en Desempeño

Diseño Basado en Desempeño DBD

El DBD es una filosofía en la cual los criterios de diseño se expresan en términos de un cierto nivel de comportamiento esperado para un determinado nivel de amenaza o peligrosidad (Ghobarah, 2001).

Diseño Basado en Desempeño Según ASCE 41-17.

Previo a definir la metodología de diseño la ASCE 7-16 (2016) clasifica a los edificios, de acuerdo al riesgo para la vida humana, la salud y el bienestar asociados con el daño por la naturaleza de su ocupación, de acuerdo con la Tabla 15, con el propósito de considerar las cargas de inundaciones, viento, nieve, terremotos y provisiones de hielo (granizo). Cada edificio u otra estructura se asignará a la categoría o categorías de riesgo más altas aplicables.

Tabla 15*Categorías de riesgo y factor de importancia por acción sísmica*

Categoría	Uso u ocupación de edificios	Ie
I	Edificaciones y otras estructuras que representan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla	1.0
II	Todas las edificaciones y otras estructuras excepto las que están en categoría I, III y IV	1.0
III	Edificios y otras estructuras, que en caso de falla podría ser un riesgo sustancial para la vida humana. Edificaciones y otras estructuras no incluidas en la categoría IV, que en caso de falla podría causar un sustancial impacto económico y/o interrupción masiva de la vida civil. Edificaciones y otras estructuras no incluidas en la categoría IV (incluyendo, pero no limitado a, instalaciones que fabrican, procesan, manipulan, almacenan, utilizan, o disponen de sustancias combustibles peligrosas, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen sustancias tóxicas o explosivas, donde su cantidad es superior a una cantidad umbral establecido por la autoridad competente y que sea suficiente para representar una amenaza para el público en caso de ser liberado.	1.25

Categoría	Uso u ocupación de edificios	Ie
IV	<p>Edificaciones y otras estructuras designadas como instalaciones esenciales. Edificaciones y otras estructuras, donde el fallo podría suponer un peligro considerable para la comunidad.</p> <p>Edificios y otras estructuras (incluyendo, pero no limitado a, las instalaciones que fabrican, procesan, manipulan, almacenan, utilizan, o disponen de sustancias peligrosas como combustibles, productos químicos peligrosos, o residuos peligrosos) que contienen cantidades suficientes de sustancias altamente tóxicas, cuando la cantidad exceda de una cantidad umbral establecido por la autoridad competente, para resultar peligroso para el público si se libera y es suficiente para representar una amenaza para el público en caso de vertido.</p> <p>Edificios y otras estructuras requeridas para mantener la funcionalidad de otras estructuras categoría de riesgo IV.</p>	1.5

Nota: Adaptada de ASCE 7-16 (2016).

El ASCE 41-17 (2017), presenta un conjunto de objetivos para la rehabilitación sísmica de edificios, considerando diferentes niveles de comportamiento para elementos estructurales y no estructurales.

Niveles de Desempeño Estructural.

El nivel de desempeño estructural de un edificio se seleccionará entre seis niveles de daño estructural discretos y dos rangos de daño estructural intermedios. Por un lado, los niveles de daño estructural son “Ocupación inmediata (S-1)”, “Seguridad de vida (S-3)”, y “Prevención de colapso (S-5)”, estos niveles son utilizados para definir criterios técnicos en los procesos de evaluación y rehabilitación de estructuras. Por otro lado, se establecen los rangos intermedios

“Control de daño (S-2)” y “Seguridad limitada (S-4)”, estos rangos intermedios permiten discriminar de una forma más adecuada y útil, el nivel de desempeño de la estructura.

Tabla 16

Niveles de desempeño estructural

Nivel de desempeño	Descripción
Ocupación inmediata (S-1)	Estado de daño posterior al terremoto donde una estructura permanece segura para ocupar y esencialmente conserva su resistencia y rigidez antes del terremoto.
Control de daños (S-2)	Estado de daño posterior al terremoto entre el Nivel (S-1) y el Nivel (S-3).
Seguridad de vida (S-3)	Estado de daño posterior al terremoto donde una estructura tiene daños en sus sistemas estructurales, sin embargo, se conserva con seguridad contra el colapso parcial o total.
Seguridad limitada (S-4)	Estado de daño posterior al terremoto entre el Nivel (S-3) y el Nivel (S-5).
Prevención de colapso (S-5)	Estado de daño posterior al terremoto en el que una estructura sufre daños en sus sistemas estructurales y continúa soportando las cargas de gravedad, pero es propensa al colapso.
No considerado (S-6)	Cuando una evaluación o modificación no aborde la estructura, el Nivel de desempeño estructural será No Considerado (S-6).

Nota: Adaptada de ASCE 41-17 (2017) y Albarracín Meza (2019).

Niveles de Desempeño No Estructural.

Se consideran cinco niveles de desempeño correspondientes a los estados discretos de daño para los elementos no estructurales. Los niveles son “Operacional (N-A)”, “Retención de

posición (N-B)", "Seguridad de vida (N-C)", "Amenaza reducida (N-D)", finalmente "No considerado (N-E)".

Tabla 17

Niveles de desempeño no estructural

Nivel de desempeño	Descripción
Operacional (N-A)	Estado de daño posterior al terremoto donde los elementos no estructurales de la estructura aún pueden funcionar como antes del terremoto.
Retención de posición (N-B)	Estado de daño posterior al terremoto donde los elementos no estructurales experimentan daños de modo que no funcionarán inmediatamente, sin embargo se asegura la fijación evitando daños causados por caídas, derrumbes o roturas de conexiones. El acceso a los edificios y los sistemas de seguridad de la vida, que incluyen puertas, escaleras, ascensores, iluminación de emergencia, alarmas contra incendios y sistemas de extinción de incendios, generalmente permanecen disponibles y operables, siempre que haya servicios de energía y servicios públicos disponibles.
Seguridad de vida (N-C)	Estado de daño posterior al terremoto donde los elementos no estructurales experimentan daños, sin embargo el potencial daño no representa amenaza para la vida de los habitantes.

Nivel de desempeño	Descripción
Amenaza reducida (N-D)	Estado de daño posterior al terremoto donde los elementos no estructurales experimentan daños y aumenta el riesgo de caída. Los elementos no estructurales de alto riesgo, deben asegurarse para evitar caer en áreas de reunión pública. La preservación de la salida, la protección de los sistemas de extinción de incendios y cuestiones similares de seguridad de la vida no se abordan en este Nivel de rendimiento no estructural.
No considerado (N-E)	Aplicable, cuando una evaluación o modificación no aborde todos los componentes no estructurales a uno de los niveles de desempeño anteriores.

Nota: Adaptada de ASCE 41-17 (2017).

Designación del Objetivo de Desempeño.

Se construye una tabla de las combinaciones propuestas por el ASCE, de los niveles de desempeño de los elementos estructurales y no estructurales (Tabla 18). En la Tabla 23 se presenta una descripción de los niveles de desempeño.

Tabla 18

Objetivos de desempeño

Nivel de desempeño no estructural	Niveles de desempeño estructural					
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
N-A	1-A (Operacional)	2-A	NR	NR	NR	NR
N-B	1-B (Ocupación Inmediata)	2-B	3-B	NR	NR	NR

N-C	1-C	2-C	3-C (Seguridad de vida)	4-C	5-C	6-C
N-D	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E	NR	NR	NR	4-E	5-E (Estabilidad estructural)	Sin Rehabilitación

NR: Combinación no recomendada

Nota: Adaptada de ASCE 41-17 (2017).

Control de Daños y Niveles de Desempeño.

Tabla 19

Control de daño y niveles de desempeño para edificios

Descripción del daño	Nivel de desempeño de un edificio			
	Nivel Operacional (1-A)	Nivel de ocupación inmediata (1-B)	Nivel de seguridad de vida (3-C)	Nivel prevención al colapso (5-E)
Daño global	Muy leve	Leve	Moderado	Severo

Descripción del daño	Nivel de desempeño de un edificio			
	Nivel Operacional (1-A)	Nivel de ocupación inmediata (1-B)	Nivel de seguridad de vida (3-C)	Nivel prevención al colapso (5-E)
Comportamiento del edificio en general	No hay deriva permanente. La estructura mantiene su resistencia y rigidez inicial. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, y cielos razos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas que son importantes para la operación normal se encuentran en funcionamiento.	No hay deriva permanente. La estructura mantiene su resistencia y rigidez inicial. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos razos así como en elementos estructurales. Los ascensores pueden reactivarse. Sistemas contra incendios Los equipos están en operación.	Degradación de la resistencia y rigidez inicial del edificio. La estructura es resistente a cargas gravitatorias. No hay fallas fuera del plano en muros o parapetos. Deriva permanente en algunos casos. Daño en paredes divisorias. El edificio es económicamente reparable	Poca resistencia y rigidez residual, no obstante, las columnas y muros de carga funcionando. Grandes deformaciones permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Muros de relleno y parapetos no anclados fallan o tienen daños. El edificio está cercano al colapso.
Comportamiento de los componentes estructurales	El daño esperado es despreciable. Las instalaciones de energía, entre otras, están disponibles, posiblemente se usen fuentes alternas.	El equipo y los contenidos están generalmente seguros, sin embargo, algunos no operan debido a fallas mecánicas o por la falta de otros servicios.	Peligro por caída de objetos mitigado pero muchos elementos arquitectónicos, mecánicos y eléctricos están dañados.	Daño extensivo

Nota: Recuperado de Valcárcel Torres (2013).

La relación entre los niveles de desempeño y los niveles de amenaza son identificados en la **Tabla 20**, donde se identifica que cada celda representa a un objetivo de seguridad para el reforzamiento de edificios, (Ver **Tabla 21**). Finalmente, en la **Tabla 22** se identifica la descripción de dichos niveles de seguridad para el reforzamiento. Se resalta que los niveles de amenaza (los periodos de retorno) han sido aplicados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 20

Relación entre los niveles de desempeño del edificio y los niveles de amenaza

Periodo de retorno	Periodo de excedencia	Niveles de desempeño esperado			
		Operacional (1-A)	Ocupación Inmediata (1-B)	Seguridad de la vida (3-C)	Prevención de Colapso (5-E)
72	50%	a	b	c	d
225	20%	e	f	g	h
475	10%	i	j	k	l
2500	2%	m	n	o	p

Nota: Recuperado de Valcárcel Torres (2013).

Tabla 21

Objetivos de seguridad para el reforzamiento de edificios

Objetivos de seguridad para el reforzamiento	Niveles de desempeño
Objetivos de seguridad básico	Cumple con los niveles k y p ; corresponde a los niveles de comportamiento 3-C y 5-E
Objetivos avanzados	Cumple con los niveles (k y m, n u o) y adicionalmente con (p e i o j); con (k y p y a, b e ó f), (m, n u o sólo)
Objetivos Limitados	Cumple con el nivel k (sólo), p (sólo), c, d, g, h, o i (sólo). Corresponde a niveles 4-C, 4-D, 4-E, 5-C, 5-D, 6-D o 6-E

Nota: Recuperado de Valcárcel Torres (2013).

Tabla 22

Objetivos de seguridad para el reforzamiento de edificios

Objetivo de seguridad	Descripción
Objetivo de seguridad básico	Este objetivo de reforzamiento está orientado a cumplir los niveles de seguridad de la vida (3-C) para eventos de periodo de retorno de 475 años, así como de prevención del colapso para eventos de periodo de retorno de 2500 años. Para los edificios en los cuales se requiera este nivel de seguridad se esperan daños menores para terremotos de relativa y/o moderada frecuencia, pero daños significativos y potenciales pérdidas económicas para eventos severos y poco frecuentes.
Objetivo avanzado	Este objetivo de reforzamiento está orientado a cumplir niveles de seguridad mayores que los requeridos para el objetivo de seguridad básica. De esta manera, se consideran niveles de comportamiento más estrictos para los mismos niveles de amenaza propuestos para la seguridad básica. En forma análoga, en este objetivo de seguridad se consideran mayores niveles de amenaza para los niveles de comportamiento requeridos para el objetivo de seguridad básica.
Objetivo limitado (reducido)	Este objetivo de reforzamiento corresponde a una intervención completa de la estructura y de los sistemas no estructurales, no obstante, contempla un nivel de amenaza menor que el considerado para el objetivo de seguridad básica. Así, el objetivo limitado corresponde a niveles de desempeño de seguridad de la vida para eventos de periodo de retorno menor a 475 años. A su vez, este objetivo corresponde a niveles de desempeño de prevención de colapso para eventos de periodo de retorno menor a 2500 años.

Objetivo de seguridad	Descripción
Objetivo limitado (parcial)	Este objetivo de reforzamiento corresponde a la intervención en la cual no se realice una intervención completa del edificio. No se realiza una intervención a todo el sistema resistente a cargas laterales.

Nota: Recuperado de Valcárcel Torres (2013).

Cada nivel de desempeño estructural debe cumplir con las condiciones del nivel de diseño estructural y no estructural. Finalmente, las edificaciones de categoría III (donde se encuentran las unidades educativas de estudio) deberán cumplir con el objetivo de desempeño (4-D).

Tabla 23

Objetivos de desempeño básico para edificaciones existentes

Categoría de Riesgo	BSE-1E	BSE-2E
I y II	Desempeño estructural de seguridad de vida	Desempeño de prevención de colapso
	Desempeño no estructural de seguridad de vida (3-C)	Desempeño no estructural de amenaza reducida (5-D)
III	Desempeño estructural de control de daños	Desempeño estructural de seguridad limitada
	Desempeño no estructural de retención de posición (2-B)	Desempeño no estructural de amenaza reducida (4-D)
IV	Desempeño estructural de ocupación inmediata	Desempeño estructural de seguridad de vida
	Desempeño no estructural operacional (1-B)	Desempeño no estructural de amenaza reducida (3-D)

Nota: Recuperado de ASCE 41-17 (2017).

Las estructuras ubicadas en categoría III, se encuentran en un rango entre la seguridad de vida (S-3) y la prevención de colapso (S-5) (dentro del rango inelástico), además los

componentes no estructurales se han dañado y podrían crear riesgos de caída. Sin embargo, los componentes de alto riesgo, están asegurados para evitar caer en áreas de reunión pública ya que representan un riesgo para la seguridad de la vida de muchas personas. Para cumplir los objetivos de desempeño las estructuras deben comportarse correctamente en el rango inelástico del máximo sismo considerado (MCE) con una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años y un periodo de retorno de 2500 años.

Diseño Basado en Desempeño Según NEC – 15.

Mientras el ASCE 41 – 17, indica cuatro categorías de riesgo para los edificios existentes según su ocupación o uso, la NEC-15 identifica tres categorías, y el respectivo factor de importancia por la acción sísmica. Ambas normas están correlacionadas tanto por las categorías designadas, como por el valor de los factores de importancia.

Tabla 24

Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	I
Estructuras de uso especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Las unidades educativas pertenecen a una estructura de uso especial con un factor I de 1.3 (según NEC-15), y categoría de riesgo III con un factor Ie de 1.25 (según ASCE) ya que si estas edificaciones fallan causarían un impacto económico substancial, y podrían afectar la vida de los estudiantes, maestros y demás personal que se encuentran constantemente dentro de las instalaciones.

Objetivos de Desempeño NEC – 15.

Según MIDUVI y CAMICON (2014): “La filosofía de diseño permite comprobar el nivel de seguridad de vida. El diseño estructural se hace para el sismo de diseño, el cual considera un terremoto que posee una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años.” (p. 40).

La **Tabla 25** indica una síntesis de la filosofía de diseño sismo resistente, donde se destacan los niveles de desempeño estructural (servicio, daño y colapso).

Tabla 25

Niveles de desempeño en base a filosofía de diseño sismo resistente

Nivel de desempeño estructural	Elementos estructurales	Elementos no estructurales	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Para edificaciones como las unidades educativas (estructuras de uso especial), se requiere la verificación de desempeño estructural. De tal manera, que permita limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección y esperando que las estructuras puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo máximo considerado.

La verificación de desempeño se realiza para los niveles de amenaza sísmica presentados en la Tabla 26, que se clasifican según los niveles de peligro y período de retorno.

Tabla 26

Nivel de amenaza sísmica

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno Tr (años)	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro (extremo)	2%	2500	0.00040

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Las estructuras de uso especial, deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico ante un terremoto extremo con un periodo de retorno de 2500 años (Nivel de prevención de colapso).

Tabla 27

Nivel de desempeño estructural para estructuras de ocupación especial

Nivel de desempeño estructural	Estructuras de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa de excedencia
Daño	No	Si	0.01389
Colapso	Si	Si	0.00211

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Las estructuras de ocupación especial, deben tener un nivel de desempeño estructural de no colapso (prevención de colapso), esto quiere decir que el diseño permite un cierto grado de daño de los sistemas estructurales, mientras que se espera un daño considerable de elementos no estructurales, y esto se logra con un adecuado comportamiento sísmico en el rango inelástico.

Riesgo Sísmico

Según Moquete Rosario (2012) “es importante conocer la relación existente entre riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad, como también la comprensión del concepto de cada término respectivamente. Normalmente, el concepto de riesgo sísmico tiende a ser motivo de confusión, ya que se emplea el término riesgo para referirse a la amenaza o peligrosidad, como también suele pasar esto con la vulnerabilidad” (p. 17).

Peligrosidad sísmica (P): es la probabilidad de que un fenómeno natural potencialmente dañino suceda en un sector determinado y dentro de un intervalo específico de tiempo. El peligro sísmico será determinado también en niveles de exposición (NE).

Vulnerabilidad (V): Es una característica propia de cada instalación que puede hacerla susceptible a los efectos negativos de una amenaza, en este caso, un evento sísmico.

Grado o estado de daño (D): Se relaciona con las consecuencias negativas producidas o que se pueden producir por la ocurrencia de un fenómeno natural. Estas consecuencias no deseadas pueden ser la pérdida de vidas humanas, daños materiales en vías de servicio y líneas vitales, y daños estructurales en edificios.

Elementos del territorio (E): Constituyen la población, propiedades, actividades económicas, incluyendo los servicios públicos que están expuestos a un peligro natural en un área dada.

Riesgo sísmico (Rs): Es el grado de pérdidas esperadas en un determinado elemento debidas a un fenómeno natural específico de una magnitud particular y en un período de exposición determinado. El riesgo se suele expresar mediante la convolución de la peligrosidad y la vulnerabilidad del elemento expuesto:

Riesgo en sentido global (Rg): Expresa una valoración global de las consecuencias del evento en el sector analizado, en función de la pérdida de vidas humanas, heridos, propiedades dañadas, o perturbación de la actividad económica como consecuencia de un determinado fenómeno natural, y se calcula como la convolución entre la vulnerabilidad conjunta (total) de todas las edificaciones, la capacidad de respuesta a emergencias y el nivel de exposición a la amenaza:

El riesgo se define a partir de una composición de probabilidades que se basan en frecuencias de ocurrencia de los fenómenos capaces de causar daño y en la frecuencia de daño causado. Existen diferentes formas de cuantificar los parámetros involucrados en los estudios de riesgo que, a efectos de este estudio, son el terremoto, definido en términos de intensidad macrosísmica, y el edificio, en términos de vulnerabilidad (Moquete Rosario, 2012).

Intensidad Macrosísmica

El concepto de Intensidad ha sido utilizado desde tiempos remotos, incluso antes de la existencia de los instrumentos capaces de registrar el movimiento del suelo, y constituye una regla para medir la capacidad destructiva de un terremoto.

La escala utilizada en América y con algunas modificaciones en Australia, China, Asia y Nueva Zelanda es la “Mercalli Modificada o Modified Mercalli Intensity (MMI)”, que fue mejorada por Richter en 1956 (MM-56).

Vulnerabilidad

La evaluación puede realizarse de diferentes formas, una es la llamada vulnerabilidad observada, que es mediante observación y levantamiento de planos del estado de fisuración o daño real producido por terremotos, y su posterior estudio estadístico. La vulnerabilidad también puede cuantificarse mediante el cálculo de la respuesta sísmica no lineal de estructuras, caso en el que se denomina vulnerabilidad calculada o simulada. El resultado más importante de un cálculo de este tipo es un índice de daño que caracteriza globalmente la degradación de una estructura sometida a terremotos.

Existen otros esquemas de clasificación de las técnicas o métodos de análisis de la vulnerabilidad sísmica. Esta clasificación se adopta del trabajo de Dolce et al. (1994), que las agrupa en función de la fuente de información en tres tipos de metodologías:

- **Métodos analíticos y teóricos:** Evalúan la resistencia (respuesta) de la estructura ante los movimientos del terreno, empleando modelos estructurales. Constituye un enfoque exigente, costoso y complejo. Los resultados varían en función del grado de evaluación refinada, la calidad de la fuente de información y representación de los modelos empleados (Obando Rivera & Rodríguez Anton, 2008).
- **Métodos experimentales:** Se desarrolla mediante ensayos dinámicos para determinar las propiedades de las estructuras y sus componentes estructurales y no estructurales. Generalmente están orientados a determinar las propiedades dinámicas y otras características esenciales de la estructura, involucrando aspectos como la interacción suelo-estructura entre otros. Este método, permite orientar sobre el estado actual de la edificación y los efectos que un determinado sismo ha tenido sobre ella (Obando Rivera & Rodríguez Anton, 2008).
- **Métodos empíricos:** Poseen un alto grado de subjetividad. Se basa en el comportamiento observado de las edificaciones durante la acción sísmica. Son utilizadas cuando no se cuenta con abundante información, y para evaluaciones preliminares. Son mecanismos menos rigurosos y económicos al momento de su implementación (Obando Rivera & Rodríguez Anton, 2008). Se pueden describir dos métodos principales:

- **Métodos de categorización o caracterización:** Permiten la clasificación de edificios en función a su tipología en clases de vulnerabilidad considerando la información del desempeño sísmico que han tenido estructuras de la misma tipología ante terremotos relevantes. Por ejemplo La EMS-98 que clasifica los tipos de estructuras según su clase de vulnerabilidad (Obando Rivera & Rodríguez Anton, 2008).
- **Métodos de inspección y puntaje:** Permiten identificar y puntuar las potenciales deficiencias de una edificación, asignando puntuaciones a los componentes más representativos, además considerando la importancia relativa de cada componente, conduce a la determinación de un índice o grado de vulnerabilidad. Para las edificaciones que evidencien una relevante vulnerabilidad y una significativa importancia es recomendable complementar estas metodologías con alguna técnica analítica o experimental. Un ejemplo de esta metodología es el Método Italiano para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad y la propuesta de FEMA P-154 que combina la metodología de inspección y puntaje con un método analítico para la obtención de la vulnerabilidad.

El presente proyecto de investigación aplica una metodología empírica de inspección y puntaje, para el cálculo de la vulnerabilidad.

Daño

El daño es un tema relacionado con el deterioro físico de la estructura o el impacto económico relacionado. El daño físico que puede sufrir una edificación puede ser estructural o no estructural.

La mayoría de los estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico centran su atención en la descripción de los daños físicos que pueden sufrir las edificaciones como resultado de la acción de un sismo con determinadas características. La cuantificación depende de la manera como se describan los daños y la escala de medición utilizada. El principal mecanismo para describir el nivel de daño consiste en definir diferentes estados o grados de daño de la edificación (Obando Rivera & Rodríguez Anton, 2008).

La escala EMS-98 establece que el daño se distribuye de acuerdo a una distribución binomial y considera 5 grados o estados de daño diferentes del estado de daño nulo como se indica a continuación:

$$P_k(N, d) = \frac{N!}{(N - k)! k!} d^k (1 - d)^{N-k} \quad (6)$$

$$P_k(5, d) = \frac{5!}{(5 - k)! k!} d^k (1 - d)^{5-k} \quad (7)$$

Donde:

- N = Corresponde al número de estados de daño, incluyendo el nulo
- k = Indica el grado de daño considerado
- d = Distribución de probabilidad conocido el número de estados de daño N
- (1-d) = Distribución de no probabilidad conocido el número de estados de daño N

De la ecuación **(6)** y **(7)** se puede obtener el valor de daño medio d^* y toma valores entre 0 y N:

$$d^* = N \times d \quad (8)$$

Si $d=0$ indica un valor $d^*=0$ y representa una probabilidad 1 del estado de daño Nulo y 0 para los otros estados. Un valor de $d=1$ indica un valor $d^*=5$ y una probabilidad de 1 para el estado de daño de Colapso (5) y 0 para los otros estados. Valores intermedios entre 0 y 1 para d , y entre 0 y 5 para d^* , indican una distribución de daño. De esta forma d^* determina de forma única la distribución de las probabilidades de daño. Por lo que puede utilizarse para completar las matrices de daño que, de una forma incompleta, se deducen de la descripción de los grados de intensidad (Moquete Rosario, 2012).

Por ejemplo, la escala MSK-64 considera 5 grados de daño (sin considerar el daño nulo o sin daño) los cuales se conservan en la escala EMS 98, aunque lo caracteriza con un mayor detalle. Los estados de daño son:

- G0: Sin daño
- G1: Leve
- G2: Moderado
- G3: Severo
- G4: Destrucción
- G5: Colapso

Modelar el Riesgo Sísmico

Para un elemento expuesto y un escenario sísmico, el punto de partida para un análisis de riesgo es la matriz de probabilidad de daño. Los métodos empleados para la caracterización del riesgo se han clasificado en uniparamétricos y multiparamétricos.

- **Métodos multiparamétricos:** definen la acción sísmica mediante espectros de respuesta elástica, y el elemento expuesto mediante espectros de capacidad. Ambos tipos de modelos definen el coste o daño mediante grados, estados e índices de daño. Suelen utilizar cuatro grados o estados de daño además del estado nulo.
- **Métodos uniparamétricos:** definen la peligrosidad mediante un solo parámetro, generalmente la intensidad macrosísmica, y caracterizan el elemento expuesto también mediante un solo parámetro, el índice o grado de vulnerabilidad. Suelen utilizar cinco estados de daño diferentes del nulo.

En ambos casos, suponiendo que el daño se distribuye de forma binomial, se puede representar mediante un solo parámetro que define la función de distribución de probabilidad de forma unívoca. En el presente proyecto se aplica como base el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV), representando los modelos uniparamétricos, este utiliza funciones semiempíricas que relacionan el índice de vulnerabilidad y la intensidad macrosísmica para obtener el grado de daño esperado y las matrices de probabilidad de daño.

Las metodologías para modelar el riesgo sísmico, caracterizadas como uniparamétricos y multiparamétricos presentan incertidumbres. La obtención de matrices de probabilidad de daño mediante MIV se basa en daños observados, normalmente, para terremotos distintos ocurridos en diferentes lugares, por lo que estas matrices no están exentas de incertidumbre. En el Método del Espectro de Capacidad, las curvas de fragilidad se basan en los espectros de capacidad y en opiniones expertas sobre la aparición del daño al aumentar los desplazamientos

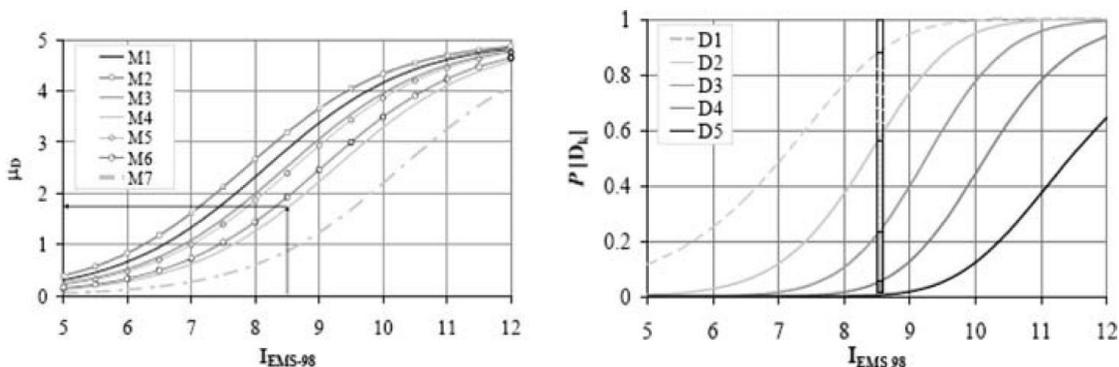
máximos de la estructura, por lo que heredan las incertidumbres involucradas en los espectros de capacidad y en la subjetividad de la opinión experta (Moquete Rosario, 2012).

Como se ha mencionado previamente, el presente proyecto adopta el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV) desarrollado en Europa, el cual recoge la experiencia de los estudios de riesgo sísmico basados en índices de vulnerabilidad, factores y matrices de probabilidad de daño, permitiendo el estudio de escenarios de riesgo, de forma sencilla, y considerando la intensidad sísmica como parámetro que define la acción sísmica. En contraste con esta herramienta se presenta un sistema de puntuación alternativo considerando grados de vulnerabilidad (A, B, C, D) que indican un estado de conservación que se describe en el Capítulo posteriores.

A partir del daño sísmico observado en estudios, se puede predecir la forma que diferentes circunstancias dentro de la estructura (año de construcción, irregularidades, locación, deterioro de elementos estructurales y no estructurales) pueden agravar o impedir que la estructura se pueda comportar como se espera. Para ello, las edificaciones son agrupadas según el tipo de construcción (de Hormigón, madera, de estructura metálica, entre otros) según la tipología presentada por FEMA.

Figura 18

Ejemplo del método macrosísmico del EMS 98



Nota: En la figura se muestra dos gráficas, la primera (izquierda) indica curvas de vulnerabilidad para diferentes tipologías de construcción (basados en la clasificación propuesta por la EMS-98) donde el daño esperado es $\mu_D = 1.7$ para la tipología M4 cuando se da una intensidad $I = 8.5$. Por otro lado, la segunda gráfica (derecha) indica curvas de fragilidad para la tipología del edificio M4 en función de I ; distribución de daños para $I = 8.5$. Recuperado de Lagomarsino y Giovinazzi (2006).

La correlación que existe en entre la entrada sísmica y el daño esperado, en función de la vulnerabilidad evaluada, se expresa en términos de curvas de vulnerabilidad **Figura 18** (izquierda) descrito por una función analítica aproximada:

$$\mu_D = d^* = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (9)$$

Donde:

- I = Intensidad medida en escala macrosísmica
- V = Vulnerabilidad característica de la estructura

El presente proyecto, quedará finalmente en términos de matrices de probabilidad de daño en las cuales se presenta en porcentajes la probabilidad de que un determinado evento sísmico, ocasione cierto estado de daño.

Peligro sísmico

La peligrosidad sísmica se entiende como la probabilidad de que en un determinado lugar y en un periodo de tiempo determinado se igualen o excedan ciertos niveles de intensidad o aceleración causada por terremotos. Esta se puede evaluar usando dos metodologías que dan lugar a dos tipos de resultados denominados como escenarios: el escenario determinista y el probabilista.

- **Escenario determinista:** se basa en el supuesto que la sismicidad histórica ofrece suficiente información para determinar los valores máximos que se esperan de movimiento del suelo.
- **Escenario probabilista:** utiliza la sismicidad, la zonación sismo tectónica y la atenuación del movimiento para obtener movimientos del suelo asociados a distintos periodos de retorno o probabilidades.

Para calcular la peligrosidad sísmica en un punto del territorio se deben considerar conjuntamente la peligrosidad sísmica regional y local. La Peligrosidad Sísmica de una región se puede expresar con diferentes parámetros representativos del movimiento del suelo en función del objetivo de la evaluación de la Peligrosidad Sísmica. El movimiento del suelo se puede medir en términos de la Intensidad Macrosísmica (I), el desplazamiento máximo (PGD), la velocidad máxima (PGV), la aceleración espectral (SA) y la aceleración máxima (PGA).

Peligrosidad Sísmica Regional

La “Falla de Quito” es una falla geológica, permanentemente activa. La superficie de contacto, es menor, en comparación a la superficie que existe entre las placas de Nazca y Sudamericana, las cuales son las autoras de sismos de gran magnitud. Sin embargo, Sangolquí y en general el valle de Los Chillos, es susceptible a sufrir un fuerte sismo, producto de esta falla (García Román & Padrón Bustos, 2016).

En base a las investigaciones del Instituto Geográfico de la Escuela Politécnica Nacional, el cantón Rumiñahui y por lo tanto las parroquias rurales y urbanas que lo conforman, se encuentran en una zona donde los registros sísmicos van de 0 a 7 en la escala de Richter, a partir de 1541 (sismicidad histórica⁹) y 1990 (sismicidad instrumental¹⁰) hasta la actualidad.

La historia sísmica de Sangolquí se resume en la **Tabla 28** en la cual se incluye los eventos telúricos que también han afectado a las zonas que conforman el Valle de los Chillos, y que pudieron haber tenido algún tipo de relación con epicentros ubicados en la ciudad de Quito.

⁹ **Sismicidad histórica:** Actas de ayuntamientos, periódicos, cartas personales, crónicas de ciudades y pueblos.

¹⁰ **Sismicidad instrumental:** Bases de datos con toda la información sobre el evento sísmico.

Tabla 28*Descripción de los sismos históricos en Quito y el Valle de los Chillos*

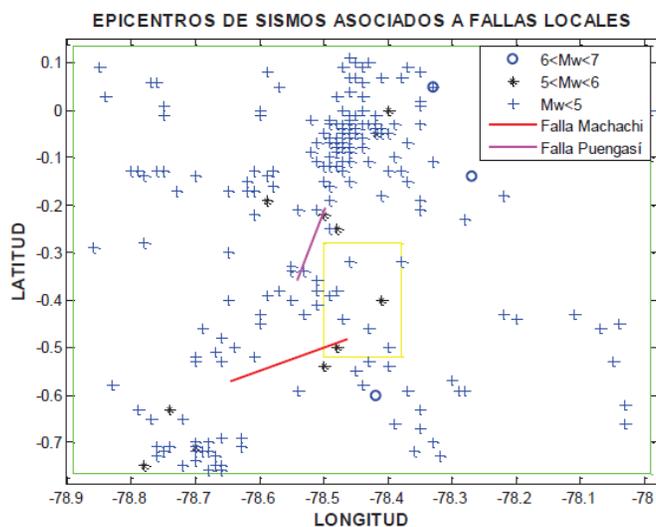
Sismos	Descripción
Sismo de 1541	El sismo tuvo un epicentro en (0.5S y 78.2W), con magnitud de 7.5 y una intensidad de IX en escala MSK.
Sismo de 1587	El sismo tuvo un epicentro en (0.05N y 78.3W), con magnitud 6.4 y una intensidad de VIII escala MSK. Tuvo lugar en Quito donde se hundieron casas e iglesias. Con un alto número de heridos.
Sismo de 1755	El sismo tuvo un epicentro dentro de la ciudad de Quito, con una intensidad IX escala MSK. Provocó estragos en templos, torre, conventos y monasterios.
Sismo de 1859	El sismo tuvo un epicentro dentro de la ciudad de Quito, con una intensidad IX escala MSK. El sismo provocó destrucciones en poblaciones dejando en ruinas a Quito, y al Valle de los Chillos, en donde también provocó grandes grietas en toda la zona.
Sismo de 1914	El sismo tuvo un epicentro en Pullurinma, a 42 km de Quito, tuvo una intensidad de VI escala MKS para el Valle de los Chillos. El sismo provocó grietas profundas, las casas sufrieron grandes daños.
Sismo de 1923	El sismo tuvo un epicentro en (0.4S y 78.3W), con magnitud de 6.5 a 7 y una intensidad de V-VII en escala MSK en Quito. Este sismo se pudo haber originado en un ramal del sistema de falla dextral (Falla de Machachi)
Sismo de 1929	El sismo tuvo un epicentro en (0.5S y 78.48W), con magnitud de 5.9 y una intensidad de VII en escala MSK en Quito.
Sismo de 1938	El sismo tuvo un epicentro en (0.4S y 78.4W), con magnitud de 5.8 y una intensidad de VII en escala MSK. Destrucción de El Tingo y Alangasí, en menor escala sufrió daños Sangolquí y Conocoto.
Sismo de 1955	El sismo tuvo un epicentro entre Imbabura y el Norte de Pichincha, Este sismo provocó el colapso de viviendas rurales, la muerte de 20 personas y varios heridos.

Nota: Adaptada de Chicaiza Bósquez (2016).

La tesis de pregrado de Chicaiza Bósquez (2016), indica dos diagramas de los epicentros de los sismos en el Valle de los Chillos, registrados desde 1541 hasta el 2016. El primero de ellos presenta los epicentros de sismos asociados a fallas locales con una profundidad focal menor a 40 km (**Figura 19**) donde se puede observar dos sismos Mw 5.9 en el año 1929 y Mw 5.8 en 1938. El recuadro amarillo pertenece a la zona el Valle de los Chillos.

Figura 19

Epicentros de sismos asociados a fallas locales

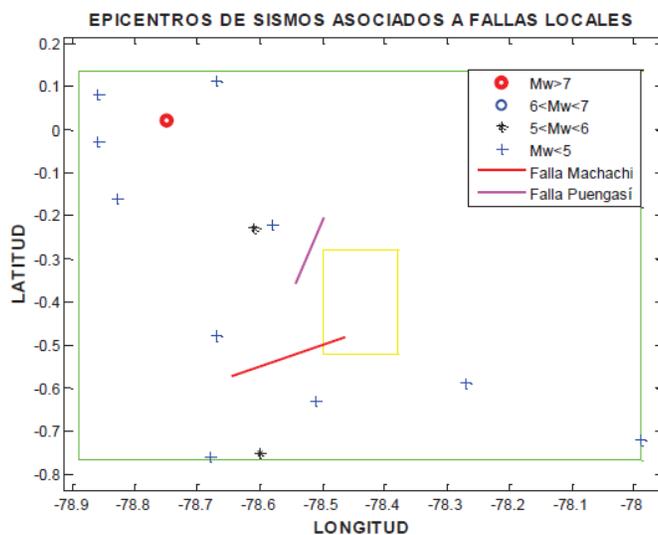


Nota: La figura indica los epicentros de los sismos asociados a fallas locales, a una profundidad focal ≤ 40 km. Recuperada de Chicaiza Bósquez (2016).

El segundo de ellos presenta los epicentros de sismos asociados a fallas locales con una profundidad focal mayor a 40 km (**Figura 20**), donde solo se puede observar el sismo de Mw 7.2 que afectó a Quito, mientras que el Valle de los Chillos (recuadro amarillo) no presentó evento alguno.

Figura 20

Epicentros de sismos asociados a fallas locales



Nota: La figura indica los epicentros de los sismos asociados a fallas locales, a una profundidad focal > 40 km. Recuperado de Chicaiza Bósquez (2016).

De acuerdo a las figuras presentadas el Valle de los Chillos es afectado por una alta influencia de sismos superficiales, que al combinarlos con factores como la vulnerabilidad estructural pueden resultar muy peligrosos para la población y su comunidad.

Zona Sísmica según NEC-15

La parroquia de Sangolquí, de acuerdo al MIDUVI y CAMICON (2014), posee un valor del factor (Z)¹¹ como se indica en la **Tabla 29**.

¹¹ **Valor de factor Z:** aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, que se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 29

Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad	Valor de Coeficiente Z
Pichincha	Rumiñahui	Sangolquí	Sangolquí	0,4

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Con el valor del factor Z, se identifica la zona sísmica correspondiente a la **Tabla 30**, en la cual el valor ($Z = 0.4$) de la aceleración corresponde a la zona V; donde el peligro sísmico es Alto.

Tabla 30

Zonas sísmicas del Ecuador, factor Z

Zona	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	> 0,50
Característica del peligro Sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Nota: Recuperado de MIDUVI y CAMICON (2014).

Peligrosidad Sísmica Local

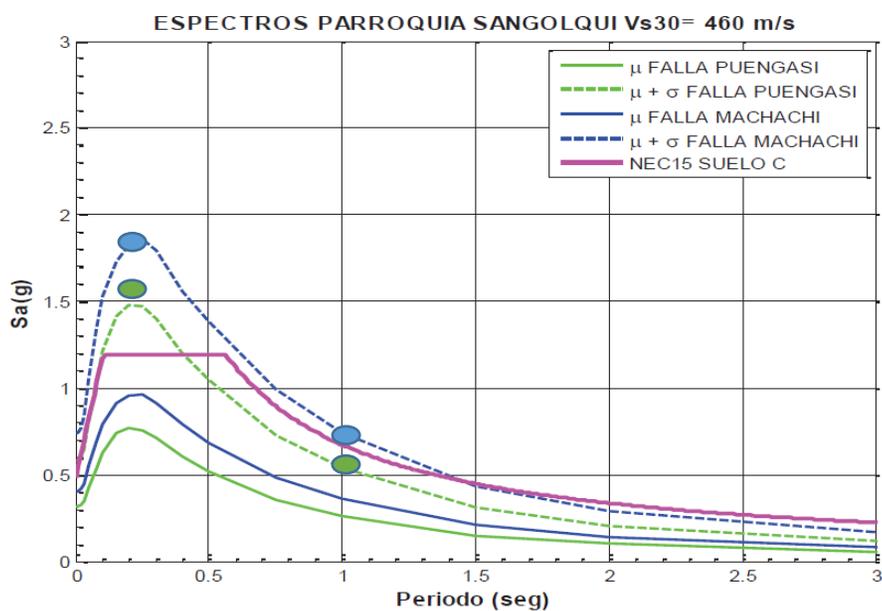
Para el estudio de la peligrosidad sísmica local se han tomado como base la investigación realizada por Chicaiza Bósquez (2016), que ha realizado el estudio de la peligrosidad de Rumiñahui en un escenario probabilista y ha obtenido como resultado final espectros de respuesta para todas las parroquias del cantón Rumiñahui.

FEMA P-154 (2015) Determina cinco niveles de región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral del Sismo Máximo Considerado (MCER por sus siglas en inglés) para lo cual el ASCE 7-16 (2016) indica que: “Cuando se requiera un espectro de respuesta MCER, se determinará multiplicando el espectro de diseño por 1,5”. De cada espectro de la parroquia de

Sangolquí se obtiene la respuesta de aceleración espectral en el periodo corto ($T=0.2s$) y periodo largo ($T=1s$).

Figura 21

Espectros para la parroquia de Sangolquí asociado a fallas locales



Nota: Esta figura indica los espectros para la parroquia de Sangolquí asociado a la falla de Puengasí y Machachi para un Nivel de confianza de 50% (línea continua) y 84% (línea entre cortada). Suelo tipo C. Recuperada de Chicaiza Bósquez (2016).

Tabla 31

Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Puengasí. Suelo tipo C.

Respuesta de aceleración Espectral	Valor promedio
Ss.(84%) = Sa.(0.2)	1.49 (g)
S1(84%) = Sa.(1)	0.55 (g)

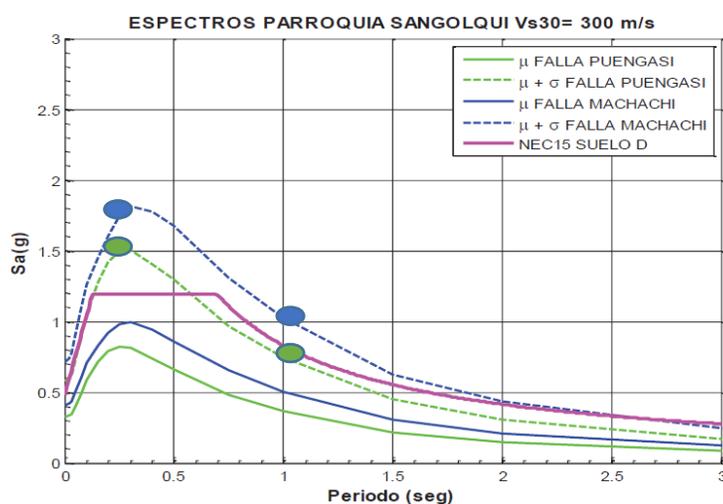
Tabla 32

Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Machachi. Suelo tipo C.

Respuesta de aceleración Espectral	Valor promedio
$S_s(84\%) = S_a(0.2)$	1.81 (g)
$S_1(84\%) = S_a(1)$	0.72 (g)

Figura 22

Espectro para la parroquia de Sangolquí asociado a la fallas locales



Nota: Esta figura indica los espectros para la parroquia de Sangolquí asociado a la falla de Puengasí y Machachi para un Nivel de confianza de 50% (línea continua) y 84% (línea entre cortada). Suelo tipo D.

Recuperado de Chicaiza Bósquez (2016).

Tabla 33

Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Puengasí. Suelo tipo D.

Respuesta de aceleración Espectral	Valor promedio
$S_s(84\%) = S_a(0.2)$	1.47 (g)
$S_1(84\%) = S_a(1)$	0.85 (g)

Tabla 34

Respuesta de aceleración espectral debido a falla de Machachi. Suelo tipo D.

Respuesta de aceleración Espectral	Valor promedio
Ss(84%) = Sa(0.2)	1.58 (g)
S1(84%) = Sa(1)	1.00 (g)

Mediante FEMA P-154 (2015) con los valores promedio de respuesta de aceleración espectral se ha identificado que la parroquia de Sangolquí de acuerdo al tipo de suelo y a la presencia de las fallas de Machachi y Quito (segmento Puengasí) presenta dos regiones sísmicas las cuales son Alta (Para Suelos tipo C $Vs_{30} < 760\text{m/s}$ pero $Vs_{30} \geq 360\text{m/s}$) y Muy alta (Para suelos tipo D $Vs_{30} < 360\text{m/s}$ pero $Vs_{30} \geq 180\text{m/s}$) mediante la **Tabla 35**.

Tabla 35

Región Sísmica a partir de la MCER¹² Respuesta de Aceleración Espectral

Región Sísmica	Respuesta de aceleración espectral, Ss, (periodo corto, o 0.2 segundos)	Respuesta de aceleración espectral, S1, (periodo largo, o 1.0 segundo)
 Baja	$Ss < 0.250g$	$S1 < 0.10g$
 Moderada	$0.250g \leq Ss < 0.50 g$	$0.100g \leq S1 < 0.200g$
 Moderada alta	$0.500g \leq Ss < 1.00g$	$0.200g \leq S1 < 0.400g$
 Alta	$1.000g \leq Ss < 1.50g$	$0.400g \leq S1 < 0.600g$
 Muy alta	$Ss \geq 1.500g$	$S1 \geq 0.600g$

g = Aceleración de la gravedad en dirección horizontal

Nota: Adaptada de FEMA P-154 (2015).

¹² **MCER:** Aceleración para el sismo máximo considerado

Resumen del Capítulo

Para el cálculo del grado de vulnerabilidad la metodología aplicada es empírica de inspección y puntaje para los distintos edificios dentro de las unidades educativas. Además, para el desarrollo de matrices de daño se establece métodos uniparamétricos los cuales han sido descritos previamente. La parroquia de Sangolquí se encuentra en una región sísmica de amenaza muy alta, con respecto a FEMA P-154 (2015). Por lo tanto la evaluación del grado de vulnerabilidad a edificios de usos especiales o esenciales es importante dentro de esta zona.

**Elaboración de “Guía para Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica para Unidades Educativas
Localizadas en la Parroquia de Sangolquí”**

Glosario de Términos

Para la evaluación de vulnerabilidad de unidades educativas resulta necesario definir algunos conceptos en el contexto en el que se van a manejar, según DIPECHO y Consorcio PNUD-CRIC-Plan Internacional Ecuador (2012), los principales conceptos que se debe conocer son:

- **Riesgo:** Es la probabilidad de que se puedan sufrir daños materiales, sociales o económicos (muertes, lesiones, daños a la propiedad, interrupción de la actividad económica) en un lugar determinado, en este caso, las unidades educativas.
- **Desastre:** Es la interrupción en el funcionamiento normal de una comunidad ocasionada por muertes, grandes pérdidas e impactos materiales o económicos que exceden la capacidad de dicha comunidad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos y que requiere de las capacidades del gobierno central o incluso de la ayuda internacional. El desastre se presenta cuando el riesgo, que antes era una probabilidad, se convierte en realidad. Es decir, cuando efectivamente se producen todas esas pérdidas. Es una alteración intensa en las personas, la economía, los sistemas sociales y el ambiente, causada por sucesos naturales, por la actividad humana o por la combinación de ambos, que superan la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

- **Emergencia:** Perturbación con potencial para afectar el funcionamiento de una comunidad o sociedad (en términos de vidas humanas, salud, bienes o medio ambiente) que puede ser manejada a partir de las capacidades disponibles.
- **Amenazas:** Son fenómenos naturales o condiciones peligrosas que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento, de servicios o daños ambientales.
- **Vulnerabilidad:** Es una característica propia de cada instalación que puede hacerla susceptible a los efectos negativos de una amenaza, en este caso, un evento sísmico.
- **Capacidades:** Son las fortalezas, atributos y recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de un determinado objetivo. Estas características se pueden desarrollar para tener una mejor preparación en caso de un desastre.

Generalidades de los Terremotos y el Impacto en Unidades Educativas

De acuerdo a FEMA P-1000 (2017) En las unidades educativas la caída de elementos no estructurales como cielos falsos, lámparas o instalaciones es común en la mayoría de los eventos sísmicos, lo que puede provocar algún tipo de lesión o incluso la muerte a la comunidad escolar dentro de las instalaciones. Los daños que puede causar un sismo van desde el cierre temporal de las edificaciones hasta la reubicación de la unidad educativa, esto puede quitarle a la comunidad un valioso recurso por largos periodos de tiempo e interrumpir las vidas de los niños y sus familias.

Figura 23

Escuela afectada por el sismo de Puebla – México (2017)



Nota: La figura indica los efectos del sismo de Puebla - México del año 2017. Recuperada de La izquierda Diario (2017).

Unidades Educativas en Regiones Propensas a Terremotos

El riesgo debido a terremotos es el producto entre el nivel de amenaza sísmica del sector de estudio y la vulnerabilidad del edificio considerado. El riesgo básicamente puede ser mitigado reduciendo la vulnerabilidad y fortaleciendo las capacidades de la comunidad educativa mediante los planes de emergencia. Una efectiva mitigación depende de un buen entendimiento de las vulnerabilidades y sus consecuencias.

Las unidades educativas ubicadas en una región de alta o muy alta amenaza sísmica presentan un alto riesgo de experimentar un terremoto destructivo, por lo que deben

desarrollar planes integrales para poder comprender las potenciales consecuencias que podrían suscitar y tratarlas como una prioridad. Las unidades educativas en regiones de sismicidad moderada o moderadamente alta tienen un riesgo moderado, pero los tipos de construcciones con alto riesgo de colapso deben ser identificadas para tomar medidas de mitigación y, por supuesto, elementos tales como gabinetes, vitrinas y estanterías deben ser anclados para la mitigación del riesgo no estructural. Las unidades dentro de regiones de baja sismicidad deberán enfocar sus prioridades en otro tipo de amenazas naturales.

Vulnerabilidad de la Unidad Educativa

Los planes de emergencia dependen de un entendimiento de los niveles más probables del movimiento sísmico, del daño esperado para el sitio y de las instalaciones de la unidad educativa. La vulnerabilidad de un edificio depende del daño potencial que puede causar un terremoto por características como:

- Ubicación de la unidad educativa (cercanía a fallas geológicas, posible licuefacción del suelo debido al terremoto, deslizamientos de tierra o una pobre accesibilidad).

Figura 24

Deslizamiento de tierra en la escuela San Marcos (Guatemala)



Nota: La figura indica el deslizamiento de tierra ocurrida en la escuela San Marcos de Guatemala.

Recuperado de El periódico (2019).

- La estructura de la unidad educativa (paredes, vigas, columnas, y losas).

Figura 25

Daños en una escuela de Bahía de Caráquez tras el sismo de 2016 (Ecuador)



Nota: Recuperada de Lanning et al. (2016).

- Sistemas no estructurales y el contenido de la unidad educativa (por ejemplo, material no estructural dentro del edificio, paredes divisorias, cielos rasos, lámparas, y estanterías).

Figura 26

Caída de elementos no estructurales después del terremoto (Northbridge)



Nota: Recuperada de FEMA P-1000 (2017).

Edificios Escolares Seguros

Típicamente las unidades educativas comprenden varios edificios, a menudo construidos en diferente tiempo, por lo que la vulnerabilidad física debe evaluar a todos los edificios que las comprenden. Las vulnerabilidades potenciales son principalmente los problemas con la locación, problemas estructurales del edificio, los cuales pueden conducir a un daño severo o incluso el colapso, y problemas con los elementos no estructurales que pueden causar lesiones por la caída de objetos o la interrupción de la movilidad dentro de la institución.

Locación del Edificio Escolar

A pesar de que las vulnerabilidades estructurales usualmente son las más críticas, los problemas de locación deben ser considerados, mediante investigaciones geotécnicas en el sitio para ser interpretadas por un profesional. Los municipios deben tener mapas de zonificación donde se muestren las áreas con riesgo debido a fallas geológicas, deslizamiento de tierras, o licuefacción en el lugar donde se encuentra la unidad educativa.

Tipos de Edificios Vulnerables

Edificios Construidos con Normas de Construcción Antiguas o sin Código.

Edificaciones construidas con la norma de construcción vigente, en la cual se incluye consideraciones sísmicas, deben proveer una adecuada protección a la vida ante un colapso incluso en un terremoto de gran magnitud y larga duración. Sin embargo, la normativa de construcción ha cambiado en los últimos 50 años y las edificaciones más antiguas probablemente no proporcionen el mismo nivel de seguridad.

Muchas unidades educativas han sido construidas bajo códigos de construcción muy antiguos o incluso antes de que exista algún código de construcción que contenga requerimientos de diseño sísmico en vigencia. Estas edificaciones suelen ser más vulnerables que las construidas con códigos de construcción modernos, y en algunos casos, plantean riesgo de colapso.

Vulnerabilidad Debido a Tipología Estructural.

Muchas de las edificaciones antiguas están construidas con una tipología estructural de muros de mampostería no reforzados, el cual usa bloque hueco de hormigón con viguetas de

madera que descansan en los muros para formar los pisos y la cubierta de la estructura. Las edificaciones de mampostería no reforzada son casi siempre las primeras en sufrir daño durante un terremoto. Chimeneas, paredes y antepechos pueden colapsar con bajos niveles de movimiento sísmico, y con movimientos continuos, muros enteros pueden colapsar e incluso los pisos y las cubiertas.

Otro tipo de construcción que ha probado ser susceptible a terremotos son las estructuras de concreto reforzado construidas antes de la implementación de normas de construcción sismo resistente. Sin embargo, la vulnerabilidad de este tipo depende bastante de su configuración exacta y los detalles constructivos. Otros materiales de construcción, como el acero estructural, mampostería reforzada, o elementos de madera, generalmente son considerados menos vulnerables, pero el comportamiento estructural en un terremoto real dependerá de la configuración y detalles de cada estructura.

Medidas de Reducción de Riesgo.

Las medidas de reducción de riesgo relacionadas a terremotos suelen ser percibidas como costosas y desalentadoras, pero la medida más efectiva y poco costosa es realizar una evaluación preliminar del daño potencial que puede recibir el sistema estructural y no estructural en una unidad educativa para poder generar un apropiado plan de emergencia en respuesta a terremotos. La evaluación preliminar también permitirá la identificación de medidas prioritarias y rentables para reducir los riesgos de daño físico, y así, generar una lista de adecuaciones progresivas que resultarán en una reducción continua del riesgo a través del tiempo.

Para un plan de emergencia y para el entendimiento y planeamiento de la reducción del riesgo, es muy importante que el tipo de estructura y su probable comportamiento ante un terremoto sea comprendido.

Readecuación o Reemplazo.

Si se encuentran deficiencias sísmicas en edificaciones escolares, particularmente las que atentan contra la vida, los estudios deben definir arreglos preliminares y costos aproximados. Los costos de readecuación variarán en gran medida debido a las diferencias en el tipo de construcción y la cantidad de deficiencias de la edificación. Cuando el costo estimado de la readecuación alcanza el 50% o 60% del costo que tendría el reemplazo de la edificación entonces el reemplazo sería la opción recomendada. Además del costo de readecuamiento, se debe tomar en cuenta que la utilización de la edificación se verá interrumpida durante los trabajos de construcción y cuando estos hayan terminado, la edificación aún será “vieja” en apariencia, eficiencia energética y accesibilidad.

Figura 27

Colapso de Escuela Guánica, Puerto Rico (2020)



Nota: Recuperado de Metro Puerto Rico (2020).

Estos problemas podrían causar que se considere la reducción de riesgo, mediante readecuación, solo para las más severas o dañinas deficiencias.

Readecuación Parcial o Incremental.

Debido a los costos y la interrupción de las actividades, algunas veces se considera una readecuación parcial de la edificación escolar. Las deficiencias que se solventarán con adecuaciones parciales deben ser cuidadosamente seleccionadas con el criterio “primero en fallar”.

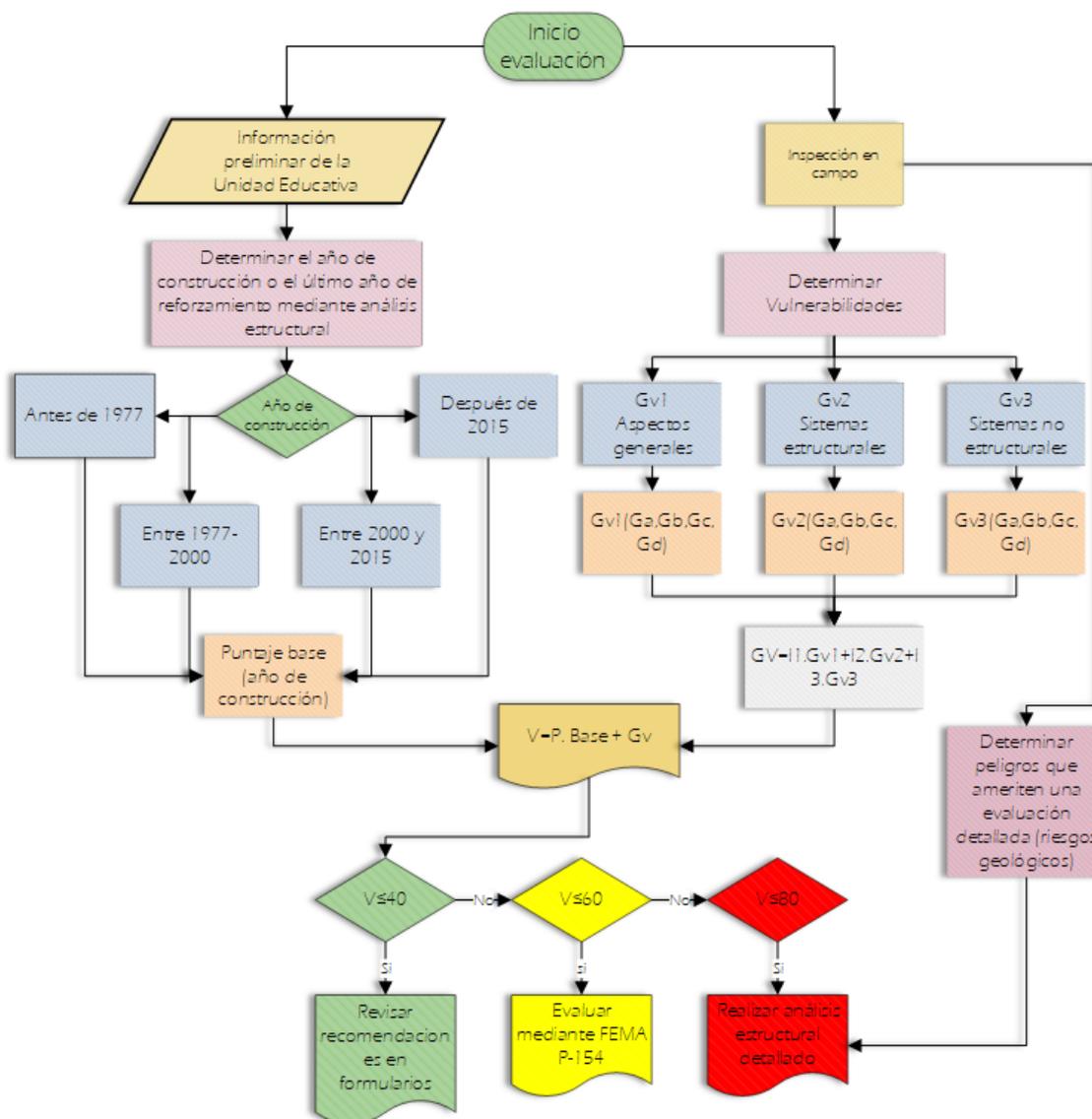
Sistemas no Estructurales

Los códigos de construcción han considerado por décadas el asegurar elementos no estructurales asociados con la edificación misma como divisiones de espacios, cielos rasos e instalaciones eléctricas, especialmente en zonas de alta sismicidad. Sin embargo, la instalación de estos elementos normalmente está a cargo del contratista y las características de protección sísmica suelen estar incompletas o incorrectas. El contenido de las edificaciones, instalado por el mismo propietario, como estanterías, archiveros, gabinetes, vitrinas, no tiene un control bajo ninguna norma y normalmente son colocados en el piso sin ningún tipo de anclaje sísmico.

Procedimiento de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad (V)

Figura 28

Flujograma para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones



Una planilla para la recolección de datos en una inspección rápida de edificios fue desarrollada por FEMA P-154 (2015). El instrumento de recolección está orientado a la mayor

parte de edificios, por lo que sirve como punto de partida al formulario de evaluación elaborado en el presente proyecto, que para su aplicación cuenta con un puntaje base y tres grupos de vulnerabilidad para poder cuantificarlo.

- P. Base: Año de construcción

Referente al año de construcción el cual determina si el edificio cumple con los objetivos de desempeño establecidos para un edificio de categoría III (del ASCE).

- GV1: Aspectos generales de la Unidad Educativa:

Tipo de edificio FEMA, número de pisos, presencia de edificaciones adyacentes, tipo de suelo del terreno.

- GV2: Vulnerabilidad estructural:

Referente a los elementos estructurales de la unidad educativa (columnas, vigas, y losas), y su geometría, disposición y configuración en planta y elevación, presencia visible de irregularidades y patologías en elementos estructurales y no estructurales como paredes.

- GV3: Vulnerabilidad de sistemas no estructurales:

Estado de conservación de la edificación y cubiertas, sumado al contenido de la unidad educativa, por ejemplo, tanques de almacenamiento de agua, paredes divisorias, cielos rasos, lámparas, estanterías, puertas, ventanas, entre otros.

Para evaluar una estructura se define variables o condiciones con cuatro grados que representan la vulnerabilidad que incide en la estructura, para cuantificarlo se han asignado un valor numérico como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 36*Grados de vulnerabilidad utilizados*

Grado	Descripción	Puntaje
G_A	Representa una vulnerabilidad baja	20
G_B	Representa una vulnerabilidad media	40
G_C	Representa una vulnerabilidad alta	60
G_D	Representa una vulnerabilidad muy alta	80

La escala para la medición de la vulnerabilidad se establece de 20 a 80 puntos considerando que una puntuación de vulnerabilidad igual a 100 significaría que el edificio escolar es inhabitable e indicaría que no es apto para su funcionamiento, por otro lado, el valor 0 equivale a que la estructura es invulnerable y ciertamente este término no corresponde a ninguna edificación en el país.

Puntaje Base (P. Base)

Un factor importante en la determinación de la vulnerabilidad de las unidades educativas se centra principalmente en el año en el que ha construido la estructura y si cumple con los objetivos de desempeño que fundamenta el American Society of Civil Engineers para el sismo máximo considerado (2% de excedencia en 50 años) estos objetivo es el de prevención al colapso el cual permite daños extensos en elementos estructurales (pero siguen funcionando) y permite un daño significativo en los elementos no estructurales. Por lo tanto, se ha optado por usar puntajes base dependiendo del año de construcción de la edificación y de esta manera se define los rangos de vulnerabilidad pretendidos para las estructuras.

La mayor parte de unidades educativas de Sangolquí son de muy antigua construcción, por lo que se presume que no fueron diseñadas con una adecuada normativa, inclusive se tiene conocimiento de que hace más de 40 años ni siquiera había un ente que regularice estas construcciones. A conocimiento de los autores una de las primeras normas que contemplo el diseño de edificios en el Ecuador es el CEC 77 (Código Ecuatoriano de la Construcción del año 1977), Seguido del CEC 2000 (Código Ecuatoriano de la Construcción del año 2000) y finalmente la NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2015)

Antes del Primer Código de Construcción (Pre código)

Para los años anteriores al año 1977, donde apareció la primera normativa en el Ecuador, en la mayoría de las estructuras no tenían un diseño sismo resistente ni siquiera existía un control de calidad adecuado, esto se traduce en construcciones informales que se encargaron de edificar las escuelas y colegios más antiguos. Por lo que las construcciones anteriores al año 1977 son consideradas como un deficiente desempeño estructural.

Primer Código Ecuatoriano de Construcción (CEC 77) (Periodo de Transición)

En el año 1977, bajo registro oficial N° 369 se oficializaba las dos primeras partes del Código Ecuatoriano de la Construcción con el objetivo de mejorar la seguridad y calidad de las construcciones, así como también de proteger vidas humanas, los mismos que fueron elaborados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Para la elaboración de esta normativa se hacía referencia al código ACI 318-71 (American Concrete Institute), adaptándolo a las situaciones del Ecuador. Este código trató únicamente viviendas de hasta tres pisos y en la

que no considera los elementos pre esforzados o prefabricados (Carranza Quinatoa & Yacelga Perugachi, 2016).

Entre los años 1977 y 1990 a pesar de contar con el CEC 77, seguía sin implementarse un control por parte de los profesionales en la construcción, incluso tampoco se exigía un diseño sísmico resistente. No fue hasta el año 1998, fecha del sismo de Bahía de Caráquez, en que se evidenció el pobre desempeño de las estructuras construidas con el CEC 77, las que incluso colapsaron. Ante esta situación hubo la necesidad de seguir investigando para lograr obtener edificaciones más seguras en el Ecuador ante estos efectos.

Código Ecuatoriano de Construcción 2000 (CEC 2000) (Post código)

En el año 2001 se oficializa el primer escrito del CEC 2000 del cual forma parte el capítulo de “Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para el diseño sísmico resistente”, el cual tuvo una última actualización en el año 2002 (Carranza Quinatoa & Yacelga Perugachi, 2016). Esta normativa tenía como principal objetivo el diseño de especificaciones básicas para estructuras sujetas a los efectos sísmicos, que podrían presentarse en algún momento de su vida útil (Vásquez León, 2015).

Filosofía de diseño del CEC 2000: Para un determinado tipo de movimiento sísmico se estableció objetivos principales:

Tabla 37

Filosofía de diseño

Tipo de terremoto	Objetivo
Terremotos leves y frecuentes	Prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales

Tipo de terremoto	Objetivo
Terremotos moderados y poco frecuentes	Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales
Terremotos severos y que rara vez ocurren	Evitar el colapso de la estructura procurando salvaguardar la vida de las personas

Nota: Adaptado de Carranza Quinatoa y Yacelga Perugachi (2016) y Vásquez León (2015).

El CEC 2000 buscó mejorar la calidad de las estructuras tras los daños del sismo de 1998. Sin embargo, con los eventos sísmicos suscitados en las últimas dos décadas a nivel mundial, ha exigido las mejoras en las normas de diseño sismo resistente por lo que, en el 2010 el gobierno ecuatoriano dispuso actualizar y mejorar la normativa de construcción, con un grupo de profesionales, consultores nacionales y extranjeros, docentes de centros de educación superior, entre otros.

Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) (Código Moderno)

El 6 de abril de 2011, mediante Decreto Ejecutivo N° 705, publicado en el Registro Oficial N° 421, se conformó el Comité Ejecutivo de la NEC, al que se le encargó la tarea de expedir la Norma Ecuatoriana de la Construcción la cual debía contemplar los requisitos mínimos de diseño, construcción y control en la ejecución de las obras, además de promover una mejora en la calidad de las edificaciones, orientadas principalmente a proteger la vida de las personas.

El 19 de agosto de 2014, a través del Acuerdo Ministerial N° 0028, del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), fueron aprobados los seis primeros capítulos de la NEC-15. Mientras que el 10 de enero de 2015, el MIDUVI mediante Acuerdo Ministerial número 0047, aprobó los 4 capítulos restantes de la actual norma.

Tabla 38

Capítulos aprobados de la NEC-15 por años

Primeros capítulos de la NEC-15	Segundos capítulos de la NEC 15
Fecha de aprobación: 19 de agosto de 2014	Fecha de aprobación: 10 de enero de 2015
NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)	NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo resistente	NEC-SE-MD: Estructuras de Madera
NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras	NEC-HS-VIDRIO: Vidrio
NEC-SE-GC: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones	NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5m
NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado	
NEC-SE-MP: Estructuras de Mampostería Estructural	

Nota: Adaptada de Vásquez León (2015).

Filosofía de diseño: Según MIDUVI y CAMICON (2014): “La filosofía de diseño permite comprobar el nivel de seguridad de vida. El diseño estructural se hace para el sismo de diseño, el cual considera un terremoto que posee una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años” (p. 40).

MIDUVI y CAMICON (2014): Indican en la NEC-15 los objetivos de desempeño para los edificios de uso especial los cuales cumplen con lo estipulado en el ASCE. Finalmente, para el puntaje base se considera el desempeño esperado de la norma con la que se construyó.

Tabla 39

Puntajes base según el Año de Construcción

Rango de Año	Desempeño estructural	Puntaje Base
Después del año 2015 (NEC 15)	Buen desempeño	12.5
Entre 2000-2014 (CEC 2000)	Moderado desempeño	22.5
Entre 1978-1999 (CEC 77)	Deficiente desempeño	45
Antes del año 1977 (Sin Norma)	Nulo desempeño	55

Con los puntajes base sumado a los modificadores de puntaje se obtienen los rangos de vulnerabilidades esperadas por año de construcción.

Tabla 40

Rangos de vulnerabilidad esperados por año de construcción

Año de construcción	Vulnerabilidad mínima	Vulnerabilidad máxima
Después del año 2015 (NEC 15)	20	42.50
Entre 2000-2014 (CEC 2000)	30	52.50
Entre 1978-1999 (CEC 77)	52.50	75
Antes del año 1977 (Sin Norma)	61.25	80

Modificadores de Puntaje (GV)

Para obtener el valor de los modificadores de puntaje se utiliza el formulario “Vulnerabilidad” del **Apéndice B**; con él se puede recolectar información sobre las condiciones actuales del edificio. Para obtener este puntaje modificador es necesario revisar las condiciones de vulnerabilidad asignándole un puntaje mediante el mecanismo mostrado en Tabla 41, de este modo se calcula el valor de vulnerabilidad por cada “Grupo de Vulnerabilidad”

Tabla 41

Ejemplo de evaluación de modificadores de puntaje para cada GV

N°	Condición	GA 20pts.	GB 40pts.	GC 60pts.	GD 80pts.
1	Condición 1	X			
2	Condición 2		X		
4	Condición 3			X	
CONTEO DE RESPUESTAS		1	1	1	0
PUNTAJE		x20 20	x40 40	x60 60	x80 0
SUMATORIA		120	/	3	(Número de condiciones del formulario)
PUNTAJE FINAL DE VULNERABILIDAD (V)		40			

El puntaje GV final está en función del valor de cada grupo de vulnerabilidad; estas condiciones influyen en diferente medida al puntaje final de la vulnerabilidad, siendo las más importantes las categorías GV1 y GV2, por lo tanto, a estas se les ha asignado una mayor influencia sobre la vulnerabilidad dependiendo del puntaje base como se plantea a

$$V = P.Base + GV \quad (11)$$

continuación:

$$GV = I_{(GV1)} \cdot Gv_1 + I_{(GV2)} \cdot Gv_2 + I_{(GV3)} \cdot Gv_3 \quad (10)$$

Tabla 42

Factor de influencia para GV en función del puntaje base

I	Puntaje Base			
	12.5	22.5	45	55
GV1		0.2250	0.225	0.1875
GV2		0.1125	0.113	0.0938
GV3		0.0375	0.038	0.0313

Aspectos Generales de la Unidad Educativa (Gv1)

Número de Pisos.

El número de pisos tradicionales para unidades educativas en el Ecuador, van desde 1 hasta 4. Dadas las características de diseño de las estructuras de las unidades educativas en Sangolquí, y considerando el tiempo de su construcción, se ha identificado como puede afectar la vulnerabilidad mientras más alta sea la estructura. Para ello la condición de número de pisos estará en base al año de su construcción, ya que es lógico pensar que si no se han implementado normas de diseño sismorresistente las estructuras más altas serán las más vulnerables.

Las estructuras levantadas a partir del post-código (CEC 2000) y mucho más las construidas con el código moderno (NEC 15) serán las condiciones de vulnerabilidad más bajas, especialmente los edificios que contengan hasta un máximo de 4 pisos, ya que en estas normativas ya se han implementado el diseño sismo resistente.

Las construcciones levantadas durante el periodo de transición (1977-2000) son consideradas como edificios con un pobre desempeño estructural por lo que han sido categorizadas como una vulnerabilidad alta (hasta un máximo de 3 pisos). Sin embargo, el

material predominante en el sistema estructural será juzgado por el evaluador para marcar esta condición. Si no cumple con ninguna de las anteriores condiciones se le asignará el peor grado de vulnerabilidad.

Tabla 43

Grado de vulnerabilidad por número de pisos

Año de construcción	Altura	Grado
Post código	Menor a 4 pisos	G_A: 20
Post código	Mayor a 4 pisos	G_B: 40
Periodo de transición	Menor a 3 pisos	G_C: 60
Periodo de transición y pre código	Condiciones no contempladas	G_D: 80

Tipo de Edificio FEMA.

Para determinar el tipo de edificio FEMA, el evaluador será capaz de identificar el sistema estructural de los edificios dentro de las unidades educativas. En el caso de que a primera vista no se puede determinar la tipología del edificio y el acceso es imposible, el evaluador deberá ir descartando los sistemas estructurales que ciertamente no pertenezcan a la estructura en estudio y calificar las posibles opciones que quedan. Los tipos de estructuras que se presentan en la mayoría del territorio ecuatoriano se los ha dividido en 13 grupos y se los presenta a continuación.

Tabla 44

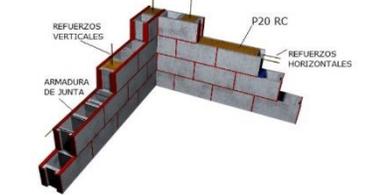
Tipo de edificio FEMA

Tipos de Edificio FEMA	Características
<p data-bbox="298 520 643 632">Estructura liviana de madera simple o multi-viviendas, de uno o más pisos (W1)</p> 	<p data-bbox="695 520 1386 793">Todos los elementos estructurales: vigas, columnas, bastidores, celosías, armaduras son de madera natural o laminada. Estas estructuras son de 1 o dos pisos máximo y de peso ligero. El tipo más común de daño estructural en edificios antiguos es el resultado de una falta de conexión entre la superestructura y los cimientos, y el soporte inadecuado de la chimenea.</p>
<p data-bbox="298 905 656 978">Estructura de acero resistente a momento (S1)</p> 	<p data-bbox="695 905 1409 1507">Las estructuras de acero resistentes a momento típicas tienen luces en las direcciones transversal y longitudinal, alrededor de 6 – 9 m. Elementos vigas y columnas conformadas por perfiles estructurales laminados en caliente o secciones armadas de placas laminadas en caliente. Los diafragmas del piso son generalmente de hormigón, a veces sobre cubiertas de acero. Este tipo estructural se utiliza para edificios comerciales, institucionales y públicos. Las soldaduras en los edificios con armazón de acero son vulnerables a daños severos. El daño toma la forma de conexiones rotas entre las vigas y las columnas. La rigidez relativamente baja del marco puede conducir a daños no estructurales sustanciales. Las fallas más comunes frente a un sismo se producen en sus conexiones.</p>

Tipos de Edificio FEMA	Características
Estructuras de acero con arriostramiento (S2)	Pórtico de acero laminado en caliente y diagonales rigidizadoras de acero a todo lo alto de la edificación. Estos edificios están arriostrados con miembros diagonales, que generalmente no se pueden detectar desde el exterior del edificio. Los pórticos arriostrados a veces se usan para edificios largos y estrechos debido a su rigidez. Desde el exterior del edificio, es difícil distinguir entre los pórticos de acero resistente a momento, los pórticos arriostrados de acero y los pórticos de acero con muros de corte interiores.
	
Estructuras metálicas livianas (S3)	El sistema estructural generalmente consiste en pórticos resistentes a momento en la dirección transversal y pórticos arriostrados en la dirección longitudinal, con revestimiento de chapa ondulada (aluminio). Los interiores de la mayoría de estos edificios no poseen un acabado de las paredes interiores y su estructura se puede apreciar a simple vista. La capacidad insuficiente de los tirantes de tensión puede provocar su alargamiento y el consiguiente daño a la construcción durante los terremotos. Una conexión inadecuada a una base de losa puede permitir que las columnas del edificio se deslicen sobre la losa. Se puede producir la pérdida del revestimiento.
	

Tipos de Edificio FEMA	Características
Estructuras con marcos de acero y muros de corte fabricados in situ (S4)	<p>Pórticos de acero laminado en caliente con muros estructurales de hormigón armado. Las cargas laterales son resistidas por los muros que por lo general, se ubican en el cajón de ascensores y gradas. Las cargas laterales son resistidas por muros de corte, que generalmente rodean los ductos de los ascensores y las escaleras, y están cubiertos por materiales de acabado. Una investigación interior permitirá una verificación del grosor del muro. Un grosor de más de 14 cm generalmente indica un muro de corte de hormigón. Se pueden producir grietas por cizallamiento y fatiga alrededor de las aberturas en los muros de concreto durante los terremotos. Las juntas de construcción de muros pueden ser planos débiles, lo que resulta en una falla de corte del muro por debajo de la capacidad esperada. Este edificio también podría tener un pórtico de hormigón.</p>
Estructuras con marcos de acero y mampostería no reforzada (S5)	<p>Pórticos de acero laminado en caliente con paredes divisorias de mampostería de bloque de hormigón. Las columnas de acero son relativamente delgadas y pueden estar ocultas en las paredes. Porciones de paredes sólidas se alinearán verticalmente. Las paredes de relleno son generalmente de dos a tres unidades de espesor. El enlucido alrededor de columnas o vigas generalmente está mal anclada y se desprende fácilmente.</p>
Estructuras de hormigón armado con marcos resistentes a momento (C1)	<p>Todos los pórticos son de hormigón armado. Un factor fundamental que riga el rendimiento de los pórticos de hormigón resistentes al momento es el nivel de ductilidad. El espaciamiento grande de los estribos en las columnas puede conducir a una falta de confinamiento del concreto y falla de corte. La falta de refuerzo continuo de la viga puede provocar la formación de rotulas durante la aplicación de la carga.</p>



Tipos de Edificio FEMA	Características
<p data-bbox="298 380 636 447">Edificios con muros de corte de hormigón armado (C2)</p> 	<p data-bbox="695 380 1419 737">Elementos estructurales vigas, columnas y muros estructurales de hormigón armado a todo lo alto de la edificación. El grosor del muro de corte a menudo varía de 15 a 45 cm. Estos edificios generalmente funcionan mejor que los pórticos de concreto. Son más pesados que los edificios con estructura de acero, pero más rígidos debido a los muros de corte. El daño comúnmente observado en edificios más altos es causado por discontinuidades verticales, golpes y configuraciones irregulares.</p>
<p data-bbox="298 779 636 930">Estructuras de hormigón armado con relleno de mampostería no reforzada (C3)</p> 	<p data-bbox="695 779 1419 1136">Elementos estructurales vigas y columnas de hormigón armado y muros portantes de mampostería sin varillas de acero. Las columnas y vigas de concreto pueden tener el espesor total de la pared y pueden estar expuestas para su visualización en los costados y la parte posterior del edificio. Las paredes de relleno tienden a doblarse y caerse del plano cuando se someten a fuertes fuerzas laterales fuera del plano. El enlucido alrededor de columnas o vigas generalmente está mal anclada y se desprende fácilmente.</p>
<p data-bbox="298 1167 636 1245">Estructuras de hormigón prefabricado (PC)</p> 	<p data-bbox="695 1167 1419 1482">Paneles portantes de hormigón armado prefabricado o elementos estructurales vigas y columnas de hormigón armado, prefabricadas y ensambladas en obra. Los edificios de hormigón pre fabricado suelen tener 1 o 2 plantas de altura. El anclaje débil del diafragma a la pared da como resultado la caída de los paneles de la pared y el colapso del diafragma (o techo). Las conexiones mal diseñadas en este sistema pueden fallar.</p>
<p data-bbox="298 1503 636 1623">Estructuras de albañilería reforzada con diafragmas flexibles de piso y techo (RM)</p> 	<p data-bbox="695 1503 1419 1829">Muros de paredes portantes de bloque o ladrillo con varillas de acero de refuerzo horizontal y vertical. Las paredes son de ladrillo o bloques de hormigón. El grosor suele ser de 20 a 25 cm. Estos edificios pueden funcionar bien en terremotos moderados si están adecuadamente reforzados y agrupados, con suficiente anclaje de la losa. La mala práctica de la construcción puede dar lugar a paredes no agrupadas y sin refuerzo, que fallarán fácilmente.</p>

Tipos de Edificio FEMA	Características
Estructuras de pared de apoyo no reforzada (URM)	Muros de paredes portantes de ladrillo, bloque, adobe, bahareque, sin refuerzo de varillas de acero. Estos edificios a menudo usaban mortero débil para unir las unidades de mampostería. La mampostería sin refuerzo generalmente muestra ladrillos de cabecera en la superficie de la pared. El rendimiento de este tipo de construcción es pobre debido a la falta de anclaje de las paredes a los pisos y el techo, el mortero blando y los pilares estrechos entre las aberturas de las ventanas.
Mixta acero - hormigón o mixta madera hormigón (MX)	Combinación de elementos estructurales, vigas y columnas de diferentes materiales, especialmente. Se debe considerar el sistema constructivo principal y más crítico para establecer el tipo de Edificio FEMA. Ejemplo si posee una estructura con columnas de hormigón armado vigas de madera y mampostería de bloque no reforzada se irá descartando según la condición más crítica.



Nota: Recuperado de FEMA P-154 (2015) y MIDUVI et al. (2016)

De la anterior tabla se puede asignar a cada uno de los edificios FEMA un grado de vulnerabilidad según su comportamiento en la región sísmica que se encuentra, lo cual se revisa en los puntajes básicos de cada tipo de edificio FEMA en los formularios de FEMA P-154 (2015).

Puntajes Básicos de Edificaciones FEMA.

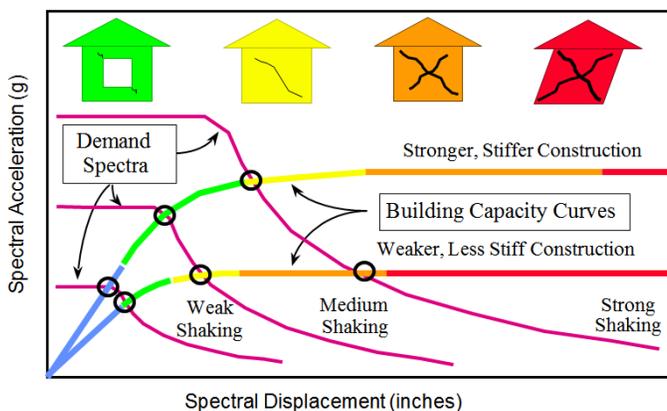
Según Pachar Romero y Paredes Valle (2019) los puntajes básicos de las edificaciones FEMA son calculados en base a la probabilidad de colapso que utiliza la versión modificada de metodología OSHPD HAZUS. La metodología HAZUS incluye tres partes para el desarrollo de los puntajes básicos de las edificaciones:

Parte 1: cálculo de respuesta de los edificios para el sismo máximo considerado: Para el cálculo de la máxima respuesta de un edificio, HAZUS determina que es la intersección de la

curva de capacidad de un edificio (obtenida mediante un análisis dinámico no lineal denominado PUSHOVER) y el espectro de demanda debido a las características del suelo.

Figura 29

Intersección de espectro de demanda y curva de capacidad del edificio

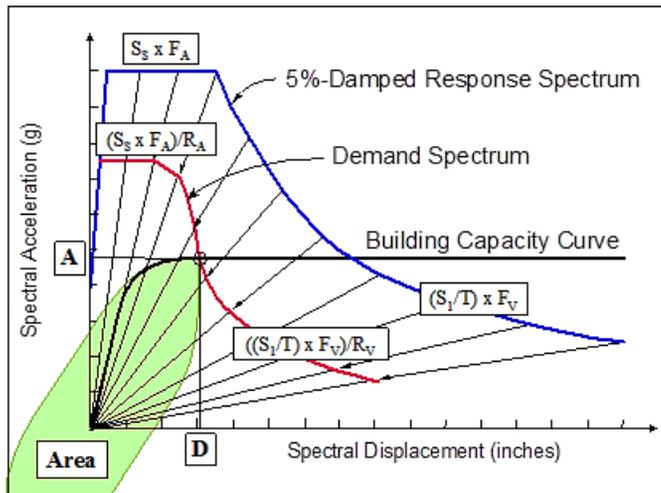


Nota: Esta figura representa a relación del espectro de demanda (movimiento sísmico) y la curva de capacidad (respuesta de la estructura). Recuperado de FEMA P-155 (2015).

Pachar Romero y Paredes Valle (2019) Explican que: la intersección entre el espectro de demanda y la curva de capacidad define el punto de máxima respuesta del edificio en las coordenadas (D, A) (Véase **Figura 30**) donde, D es el punto de máxima respuesta del edificio expresada en términos de desplazamiento espectral (pulg) y A es la aceleración espectral. El espectro de demanda se construye a partir del espectro de respuesta con un amortiguamiento del 5% y aplicando factores de reducción los cuales se encuentran en función del amortiguamiento efectivo.

Figura 30

Respuesta máxima del edificio



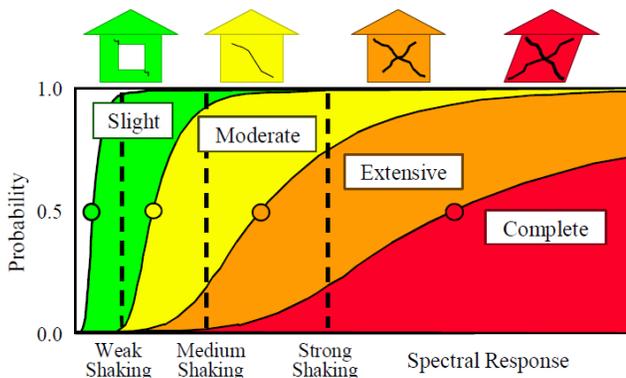
Nota: Esta figura representa una respuesta máxima del edificio ante un movimiento sísmico. Recuperado de FEMA P-155 (2015).

Parte 2: probabilidad de estado de daño completo: Representa el riesgo de colapso de un edificio, para ello, HAZUS propone las curvas de fragilidad que representan la probabilidad de alcanzar cierto daño tanto estructural como no estructural mediante la respuesta máxima del edificio ya descrito previamente, toma en consideración la variabilidad e incertidumbre asociadas con las propiedades de la curva de capacidad, los niveles de daño y los movimientos del suelo.

En la **Figura 31** se indica las curvas de fragilidad para diferentes estados de daño de edificaciones (débil, moderado, extenso, completo) de acuerdo a la respuesta espectral por movimientos del suelo (débil, medio y fuerte).

Figura 31

Curvas de fragilidad para movimientos de suelo variables



Nota: Esta figura representa las curvas de fragilidad desarrolladas con HAZUS. Recuperado de FEMA P-155 (2015).

Según FEMA P-155 (2015) cada curva de fragilidad está definida por un valor medio del parámetro de demanda que corresponde al origen de ese estado de daño y la variabilidad total asociada con el estado de daño. El parámetro de demanda es el espectro de desplazamiento S_d , d_s , de la estructura, el cual está definido por el producto de la relación de deriva de piso, Δd_s , asociado con el estado de daño de interés, la altura del edificio H_R , y por la relación de parámetros modales α_2/α_3 ; donde α_2 es el factor de altura modal y α_3 es el factor modal que relaciona la deriva máxima de pisos y la deriva del techo. Los valores medios de las curvas de fragilidad están basados en daños observados como consecuencia de sismos pasados, pruebas de laboratorio de sistemas y componentes estructurales además de la experiencia ingenieril de profesionales.

El valor promedio de desplazamiento espectral, S_d , para el estado de daño completo de la estructura está dado por:

$$S_{d,c} = \Delta_C H_R(\alpha_2/\alpha_3) \quad (12)$$

Pachar Romero y Paredes Valle (2019) Definen la probabilidad de daño completo, la cual es dependiente de los valores de desplazamiento espectral $S_{d,c}$, el valor de beta ($\beta_{S,C}$ describe la variabilidad total de los estados de daño de la curva de fragilidad) que es proporcionado por HAZUS TM en tablas para las diferentes combinaciones de deficiencias asociadas a tipologías estructurales y el valor D determinado en el apartado anterior.

$$P[\text{daño completo}] = \varphi \left[\frac{1}{\beta_{S,C}} \ln \left(\frac{D}{S_{d,c}} \right) \right] \quad (13)$$

Parte 3: probabilidad de colapso: se calcula mediante la multiplicación de la probabilidad de daño completo por el factor de colapso que es proporcionado por el catálogo de HAZUS TM para cada tipo de edificación.

$$P[COL] = P[COLAPSO|\text{Daño completo}] \times P[\text{Daño completo}] \quad (14)$$

Donde:

$$P[COLAPSO|\text{Daño completo}] = \text{Factor de colapso}$$

Finalmente la metodología OSHPD HAZUS utiliza un proceso similar al de HAZUS para el cálculo de la probabilidad de colapso, sin embargo, la diferencia entre estas dos radica en que las propiedades del edificio que se asumen varían de acuerdo a la presencia de deficiencias en OSHPD HAZUS, estas deficiencias pueden afectar a la probabilidad de colapso en varias formas como reducir la capacidad última de la estructura, reducir el desplazamiento en el techo asociado con el estado de daño completo (Pachar Romero & Paredes Valle, 2019).

FEMA P-155 (2015) Establece que para FEMA P-154 la metodología OSHPD HAZUS modifican los valores de $\beta_{S,C}$, ya que son valores determinísticos (tal como en HAZUS) y al

usarlos con movimientos del suelo (MCE) probabilísticos, estas betas determinísticas deben ser reducidas para evitar el doble conteo de la variabilidad asociada con la demanda, ya que el cálculo probabilístico de los movimientos del suelo incluye la variabilidad de registro a registro.

Para la zona de estudio en el rango de Muy Alta Sismicidad, los valores del puntaje básico de edificios FEMA son:

Tabla 45

Puntajes básicos de edificios FEMA

Código	W1	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC	RM	URM
Puntaje básico	2,1	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,1	0,9

Nota: Adaptada de FEMA P-154 (2015).

Para establecer un grado de vulnerabilidad se identifica las edificaciones con el puntaje básico más alto y más bajo, la diferencia de estos dos puntajes son el rango en el cual se dividirá para 4 (según los grados establecidos anteriormente G_A , G_B , G_C , G_D) con lo cual se obtiene:

$$Rango = PB_{max} - PB_{min} \quad (15)$$

$$Rango = 2,1 - 0,9 = 1,2$$

$$\Delta = \frac{1,2}{4} = 0,3$$

$$G_A = 2,1 - \Delta \therefore G_A = 2,1 \rightarrow 1,8$$

$$G_B = G_A - \Delta \therefore G_B = 1,8 \rightarrow 1,5$$

$$G_C = G_B - \Delta \therefore G_C = 1,5 \rightarrow 1,2$$

$$G_D = G_C - \Delta \therefore G_D = 1,2 \rightarrow 0,9$$

$$G = \begin{cases} G_A \geq 1,8 \\ 1,8 > G_B \geq 1,5 \\ 1,5 > G_B \geq 1,2 \\ G_D < 1,2 \end{cases}$$

Finalmente, la condición de edificio FEMA viene dado por los grados de vulnerabilidad asignados a los edificios que obtengan un puntaje básico relacionado el rango de valores desarrollados anteriormente.

Tabla 46

Grado de vulnerabilidad por estado Edificación FEMA

Edificaciones FEMA	Puntaje Básico	Grado asignado
W1	1,8 – 2,1	G_A: 20
S1, S3	1,5 – 1,8	G_B: 40
S2, S4, S5, C2	1,2 – 1,5	G_C: 60
C1, C3, PC, RM, URM	0,9 – 1,2	G_D: 80

Adyacencia y Golpeteo.

La interacción entre edificios adyacentes puede provocar varios tipos de daños durante los terremotos. Cuando no hay una separación suficiente entre los edificios, puede haber un riesgo de golpeteo mientras responden al movimiento del suelo. Otra preocupación son los potenciales riesgos de caída de sistemas no estructurales e inclusive el propio edificio adyacente, lo que obstaculizaría los principales medios de salida del edificio que se está protegiendo. A tomar en consideración las separaciones mínimas por cada piso de diferencia dado el nivel de amenaza sísmica.

Tabla 47

Separaciones recomendadas entre edificaciones adyacentes

Nivel de sismicidad	Separación mínima por cada piso de diferencia que tenga la estructura de una adyacente
Muy alta	5 cm
Alta	3.75 cm
Moderadamente alta	2.54 cm
Moderada y Baja	1.25 cm

Nota: Recuperado de FEMA P-154 (2015).

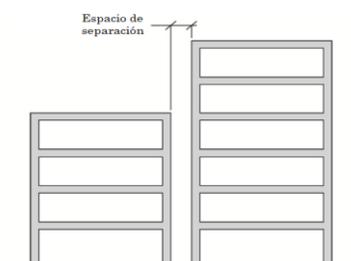
El presente proyecto, toma el valor del nivel de amenaza sísmica Muy Alta por lo tanto la fórmula para calcular el valor mínimo de separación entre edificios (denótese A y B) será:

$$\text{Espacio de separación (mín)} = \Delta(p) \times 5 \text{ cm} \quad (16)$$

$$\Delta(p) = \#Pisos_A - \#Pisos_B \quad (17)$$

Figura 32

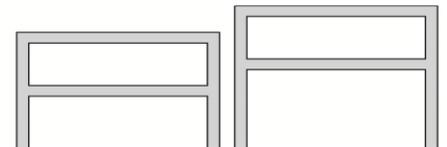
Separación entre edificios adyacentes



Nota: Esta figura representa al espacio mínimo de separación entre dos edificios. Recuperado de FEMA P-154 (2015).

Tabla 48

Guía para identificar problemas por la adyacencia de edificios

Condición	Descripción
Separación vertical de pisos adyacentes 	<p>Si los pisos están separados verticalmente por más de 60 cm, se considera que existe un potencial riesgo de daño y de colapso ya que es muy posible que la masa del piso de un edificio impacte con las columnas o paredes del otro edificio (Correa Zuñiga, 2016).</p>
Edificio con más de dos pisos de alto 	<p>Cuando un edificio es más alto que el adyacente (por más de dos plantas). El daño se concentra en el edificio más alto a nivel de la cubierta del edificio más pequeño (Correa Zuñiga, 2016).</p>
Edificio al final de una fila de más edificios 	<p>Si un edificio se encuentra al final de una fila de más de tres estructuras, se imponen demandas más altas al edificio final cuando el adyacente se mueve directamente hacia él y porque no cuenta con un edificio en el otro extremo para equilibrar las cargas. (Correa Zuñiga, 2016).</p>

Nota: Adaptado de FEMA P-154 (2015) y Correa Zuñiga (2016).

Con la información obtenida por FEMA P-154 (2015) se puede establecer dos criterios de evaluación para la vulnerabilidad de unidades educativas, la primera por golpeteo (Véase **Tabla 49**) y la segunda por adyacencia (Véase **Tabla 50**). En caso de edificios adyacentes, además se debe identificar juntas en el caso de cambios en la calidad del suelo.

Tabla 49*Grado de vulnerabilidad por golpeteo*

Condición	Grado
No presenta edificios cercanos que puedan causar problema de golpeteo	G _A : 20
El edificio adyacente se encuentra a un espacio de separación mayor al mínimo [$\Delta(p) \times 5$ cm]	G _B : 40
El edificio adyacente se encuentra a un espacio de separación menor igual al mínimo. [$\Delta(p) \times 5$ cm]	G _C : 60
Ausencia de juntas entre edificaciones contiguas, en caso de presencia de suelos de diferente calidad.	G _d : 80

Tabla 50*Grado de vulnerabilidad por adyacencia*

Condición	Grado
No presenta edificios cercanos que puedan causar problema de golpeteo	G _A : 20
El edificio se encuentra al final de una fila de más de tres edificios	G _B : 40
Nivel de pisos entre edificios es de más de 60 cm en vertical	G _C : 60
Existe un edificio adyacente con más de dos plantas de diferencia con el edificio evaluado	G _d : 80

Tipo de Suelo.

El tipo de suelo puede incidir de gran manera a los edificios escolares, ya que, dadas las características de cada uno se tendrá una reacción diferente al momento del sismo. Por ejemplo, en los suelos no cohesivos ha de presentarse el fenómeno de licuefacción, este tipo de

suelo pertenece a las arenas y gravas ubicadas en playas, cauces y llanuras aluviales. A su vez cada una de las normativas de construcción ha implementado una tipología general debido a sus propias condiciones, por lo que Ecuador no es la excepción y presenta su propia tipología.

Tabla 51

Tipo de perfil de Suelo

Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_{S_{30}} \geq 1500m/s$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500m/s > V_{S_{30}} \geq 760m/s$
C	a) Perfiles de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de corte. b) Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumpla con cualquiera de los dos criterios	a) $760m/s > V_{S_{30}} \geq 360m/s$ b.1) $N \geq 50$ b.2) $S_u \geq 100KPa$
D	a) Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de corte b) Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	a) $360m/s > V_{S_{30}} \geq 180m/s$ b.1) $50 > N \geq 15$ b.2) $100 KPa > S_u \geq 50 KPa$
E	a) Perfiles de suelos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de corte. b) Perfil que contiene un espesor total mayor de 3 m de arcillas blandas.	a) $V_{S_{30}} < 180m/s$ b.1) $IP > 20$ b.2) $w \geq 40\%$ b.3) $S_u < 50 KPa$

Perfil	Descripción	Definición
F	F1: Suelos susceptibles a falla o colapso por excitación sísmica. Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o pobremente cementados. F2: Turba o arcillas orgánicas ($H > 3m$) F3: Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5m$ e $IP > 75$) F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana – blanda ($H > 30m$) F5: Suelos con contrastes de impedancia dentro de los primeros 30m sobre del perfil del subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones de velocidades de ondas de corte F6: Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Nota: Recuperada de MIDUVI y CAMICON (2014), Erazo Villacis y Salgado Saltos (2016).

La tipología establecida por la NEC-15 permite asignar el grado de vulnerabilidad según el tipo de perfil de suelo en el que se asienta la edificación de la unidad educativa. Por un lado los edificios asentados en los perfiles de suelo tipo A y B son considerados con la menor vulnerabilidad y por otra parte los edificios asentados en los perfiles de suelo tipo E y F los más vulnerables. **Nota:** Las edificaciones cimentadas en el suelo tipo F, no puede ser evaluadas eficazmente, por lo que se requerirá un ingeniero geotécnico para verificar este tipo de suelo y un ingeniero con experiencia en evaluación de construcciones mediante este proceso.

Tabla 52

Grado de vulnerabilidad por tipo de perfil de suelo

Tipo de perfil de suelo	Grado
Tipo A y Tipo B	G_A : 20
Tipo C	G_B : 40
Tipo D	G_C : 60
Tipo E y Tipo F* (* Requiere ingeniero especialista)	G_d : 80

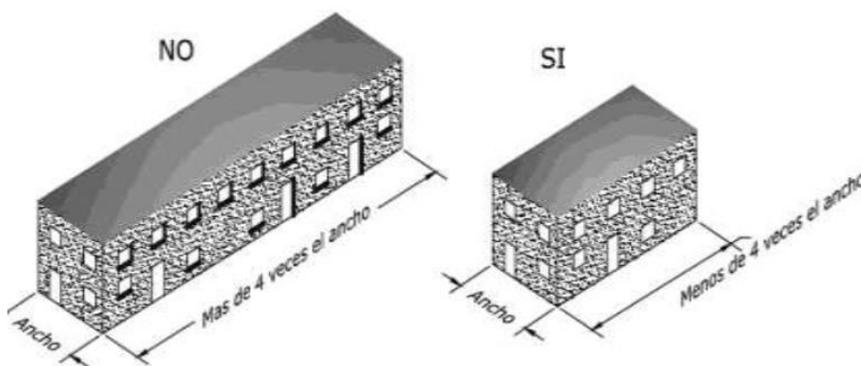
Vulnerabilidad de Elementos Estructurales (GV2)

Relación Largo Ancho.

Una longitud en planta excesiva en una edificación, afecta directamente en su comportamiento estructural. A mayor longitud, el daño es mayor debido a que no todos los puntos de la edificación, tendrán la misma acción sísmica, el mismo comportamiento dinámico, y tendrán también diferentes demandas de resistencia y ductilidad.

Figura 33

Correcta relación largo ancho



Nota: La figura indica una forma correcta de implementar la relación largo ancho. Recuperada de MIDUVI et al. (2016).

La NEC-15 recomienda una relación largo ancho no mayor a cuatro, además que ninguna longitud sea mayor a 30 metros, para ello se debe ejecutar juntas de construcción separando la edificación en dos o más bloques cortos. Las estructuras separadas mediante juntas de construcción podrán compartir la misma cimentación, pero a nivel de cadenas (sobrecimiento) se deberán separar para que cada una actúe individualmente (MIDUVI et al., 2016).

Las edificaciones con longitudes excesivas en planta, también son más propensos a sufrir movimientos rotacionales cuando enfrenten a un sismo, elevando la disparidad en demandas de resistencia y ductilidad en los elementos estructurales y no estructurales, concentrando esfuerzos en esquinas que quizá la estructura no los pueda soportar.

Tabla 53

Grado de vulnerabilidad por relación largo ancho

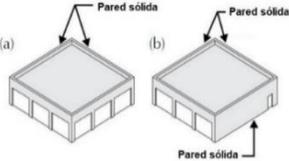
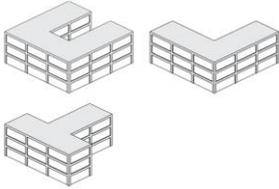
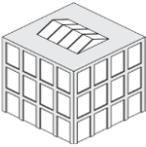
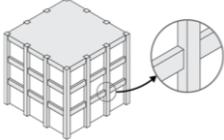
Condición	Grado
La edificación posee una relación largo ancho menor a 4	G _A : 20
La edificación posee una relación largo ancho menor a 4. Uno de sus longitudes es próxima a 30m	G _B : 40
La edificación posee una relación largo ancho mayor a 4	G _C : 60
La edificación posee una relación largo ancho mayor a 4, no se identifica juntas de separación. Una de las longitudes supera los 30m.	G _D : 80

Irregularidades en Planta.

La NEC 15 recomienda que las estructuras deben ser lo más regulares y simétricas posibles en planta, priorizando las formas tendientes a cuadrangulares o rectangulares. Para la evaluación, se considera la **Tabla 54** donde se presenta las distintas irregularidades en planta de edificaciones.

Tabla 54

Guía para identificar irregularidades en planta

Instrucciones Nivel 1	
<p>Torsión</p> 	<p>Cuando el edificio posee una resistencia lateral en una sola dirección, o cuando existe una rigidez excéntrica en planta.</p>
<p>Sistemas no paralelos</p> 	<p>Cuando el edificio posee ejes que forman ángulos diferentes a 90°.</p>
<p>Esquina reentrante</p> 	<p>Cuando los edificios presentan una configuración en forma de +, T, L o U. Verificar si hay juntas donde se localizan las alas y considerar golpeo.</p>
<p>Abertura en diafragma</p> 	<p>Cuando un edificio cuenta con una abertura que sobrepasa el 50% del ancho total del diafragma en cualquier nivel</p>
<p>Vigas no alineadas con las columnas</p> 	<p>Cuando un edificio cuenta con vigas exteriores que no están alineadas con las columnas.</p>

Nota: Adaptada de FEMA P-154 (2015), Albarracín Meza (2019), Gualoto Guacollante y Querembas Chanatasi (2019).

Finalmente, el mejor grado de vulnerabilidad se presentará en una estructura que sea regular en planta y en el caso de que una estructura presente más de una irregularidad se asigna en la evaluación el peor grado encontrado.

Tabla 55

Grado de vulnerabilidad por irregularidad en planta

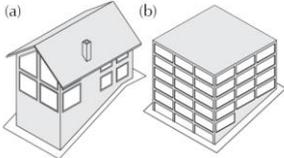
Condición	Grado
La edificación es regular	G_A : 20
La edificación presenta: Vigas no alineadas con las columnas. Abertura en diafragmas	G_B : 40
La edificación presenta: esquinas reentrantes	G_C : 60
La edificación presenta: Torsión. Sistemas no paralelos	G_d : 80

Irregularidades en Elevación.

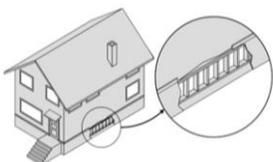
Para la evaluación de irregularidades en elevación se considera la **Tabla 56**, donde se puede encontrar los principales tipos de irregularidad en edificaciones.

Tabla 56

Guía para identificar irregularidades en elevación

Instrucciones Nivel 1	
<p>Desnivel en el terreno</p> <p>Severidad: Varía</p> 	<p>Cuando existe un cambio completo de pendiente del suelo en la primera planta. Se debe evaluar como severo en edificios tipo W1 (Figura (a)); mientras que para el resto de edificios se debe evaluar como moderado (Figura (b)) (Albarracin Meza, 2019).</p>

 Instrucciones Nivel 1

Pared de sótano sin refuerzo
Severidad: Moderada


Cuando existe la presencia de un pequeño muro sin refuerzo en el espacio de revisión del edificio. Generalmente se considera solo en edificios tipo W1. Considérese un piso blando cuando la base del edificio está ocupada (Albarracin Meza, 2019).

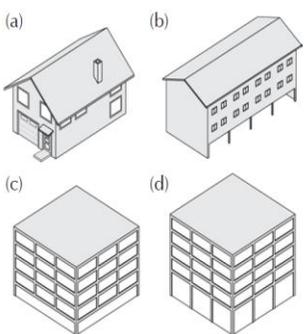
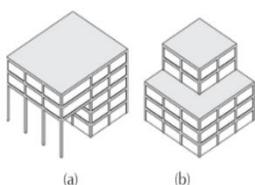
Piso blando y/o débil
Severidad: Severa


Figura (a): Cuando un edificio tipo W1 es ocupado sobre el garaje con longitudes de muro limitadas o cortas en ambos lados.

Figura (b): Cuando un edificio tipo W1A posee una abertura frontal en la planta baja.

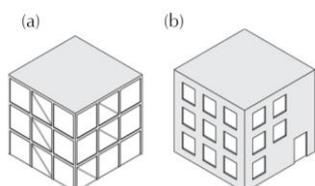
Figura (c): Cuando la planta baja (u otras plantas) poseen menos cantidad de columnas que los demás.

Figura (d): Cuando un piso es más alto que los demás.

Retroceso fuera del plano
Severidad: Severa


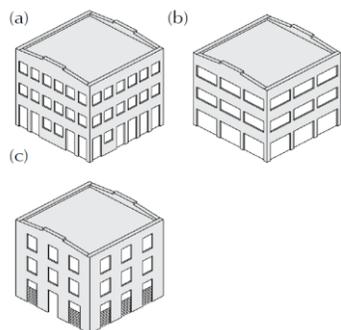
Cuando las paredes no se apilan verticalmente en planta. Se considera una irregularidad severa si los elementos verticales del sistema lateral en los niveles superiores están fuera de los niveles inferiores (Figura (a) y (b)). Si las paredes no son estructurales, no aplica esta condición. Aplicar este criterio cuando el retroceso sea mayor igual a 0.60m (Albarracin Meza, 2019).

 Instrucciones Nivel 1

Retroceso en el plano**Severidad:** Moderada

Cuando existe un desfase en el plano del sistema lateral.

Usualmente, se encuentra en pórticos reforzados (Figura (a))
Y en edificios con muros de corte (Figura (b)) (Albarracin Meza, 2019).

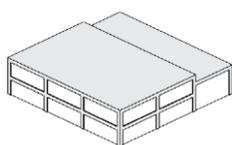
Columna corta**Severidad:** Severa

Cuando ciertas columnas son mucho más cortas que lo normal en la misma línea (Figura (a)).

Cuando las columnas son estrechas en comparación a la altura de las vigas (Figura (b)).

Cuando existen paredes de relleno que acortan la altura libre la columna (Figura (c)).

Esta condición es observada mayormente en edificios antiguos de hormigón y acero.

Niveles divididos**Severidad:** Moderada

Cuando las plantas de un edificio no están alineadas o si existe la presencia de un escalón a la altura de la cubierta (Albarracin Meza, 2019).

Nota: Adaptada de FEMA P-154 (2015), Albarracin Meza (2019).

Finalmente, el mejor grado de vulnerabilidad se presentará en una estructura que sea regular en elevación y en el caso de que una estructura presente más de una irregularidad se asigna en la evaluación el peor grado encontrado.

Tabla 57*Grado de vulnerabilidad por irregularidad en elevación*

Condición	Grado
La edificación es regular	G _A : 20
La edificación presenta: Desnivel de terreno moderada o niveles divididos	G _B : 40
La edificación presenta: Desnivel de terreno severo (pendiente mayor 14%) o retroceso en el plano o pared de sótano sin refuerzo	G _C : 60
La edificación presenta: Columnas cortas o Piso blando / débil o Retroceso fuera del plano	G _d : 80

Ampliaciones Verticales – Horizontales.

Para la evaluación de ampliaciones se considera la **Tabla 58** donde se puede identificar las principales condiciones existentes. Estas condiciones son valoradas con un grado de vulnerabilidad según la tipología de la ampliación. Además, para las ampliaciones horizontales se debe tomar en cuenta que si la ampliación analizada no está anclada a la estructura más antigua se le considerará como vulnerabilidad por adyacencia o por golpeteo.

Tabla 58

Guía para identificar ampliaciones verticales – horizontales

Orientación	Instrucciones adicionales y recomendación
<p>Vertical (1)</p> <p>Planta de menor dimensión que la principal.</p> 	<p>Cuando el área de la adición es menor al 90% que del piso debajo, o si dos o más de los muros de la adición no coinciden con los muros inferiores considere como irregularidad vertical por retroceso (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).</p> <p>Se debe evaluar como un solo edificio con el número de plantas que el original, únicamente asumiendo irregularidad vertical de retroceso.</p>
<p>Vertical (2)</p> <p>Más de una planta adicional con la misma configuración en planta y sistema estructural que el edificio original.</p> 	<p>Cuando los elementos verticales del sistema estructural de la adición no están alineados con los elementos del sistema del piso inferior, se considera una irregularidad vertical por retroceso (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).</p> <p>Se debe evaluar como un solo edificio usando la suma de los pisos del edificio original y las adiciones.</p>
<p>Vertical (3)</p> <p>Más de una planta adicional con un sistema estructural diferente.</p> 	<p>Cuando la configuración de la planta adicional es menor al 90% del piso inferior, o si más de dos muros de la adición no están alineados con los muros inferiores, se debe indicar una irregularidad vertical por retroceso (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).</p> <p>Se debe evaluar como un solo edificio sumado las plantas adicionales como una irregularidad vertical moderada.</p>

Orientación	Instrucciones adicionales y recomendación
<p>Horizontal (1)</p> <p>Edificio adicional del mismo tipo constructivo y número de pisos que el original. Dimensión horizontal del edificio estrecho menor o igual al 50% de la longitud del edificio más ancho.</p>	<p>Cuando la dimensión horizontal de la adición está entre un 50% a 75%, se debe evaluar como irregularidad por esquina reentrante. Cuando la altura del edificio adicional no está alineada dentro de un rango de 60 cm, se evalúa como potencial golpeteo (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016). Se debe evaluar como un solo edificio con irregularidad en planta y torsión.</p>
	
<p>Horizontal (2)</p> <p>Edificio adicional con diferente altura que el original.</p>	<p>Se debe evaluar como un solo edificio utilizando la altura del bloque más alto y marcando como potencial golpeteo si difieren uno del otro en más de dos pisos o estos no están alineados.</p>
	<p>Si la longitud horizontal del edificio más estrecho a lo largo de la interfaz es menor al 75%, se debe indicar irregularidad en planta por esquina reentrante (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).</p>
<p>Horizontal (3)</p> <p>Edificio adicional con diferente tipo de construcción que el original.</p>	<p>Se debe evaluar como un solo edificio utilizando la altura del bloque más alto y marcando el modificador de puntaje por Golpeteo si la altura de una de los edificios difiere del otro en más de dos pisos o estos no están alineados.</p>
	<p>Evaluar un solo edificio con irregularidad torsional usando el tipo de edificio con el menor puntaje básico (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).</p>

Orientación	Instrucciones adicionales y recomendación
Horizontal (4) Edificio adicional pequeño, que esta apoyado en el edificio original para soporte de gravedad. 	Si el tipo de construcción del edificio adicional es diferente al original, se debe evaluar como dos edificios tomando a la adición como una irregularidad vertical observable severa. Por lo general se debe evaluar como un solo edificio y asumiendo una irregularidad de retroceso si hay una diferencia en el número de pisos e irregularidad en planta, si hay una diferencia en la dimensión horizontal del edificio original y la adición a lo largo de la interfaz (Almagro Oña & Paredes Jaramillo, 2016).

Nota: Adaptada de FEMA P-154 (2015), Almagro Oña y Paredes Jaramillo (2016).

Finalmente, el mejor grado de vulnerabilidad se presentará en una estructura que no presente ampliaciones de ningún tipo. En el caso de que una estructura presente más de una ampliación se asigna en la evaluación con el peor grado encontrado. Se han elaborado dos evaluaciones tanto para ampliaciones verticales como horizontales.

Tabla 59

Grado de vulnerabilidad por ampliaciones verticales

Condición	Grado
Estructura no presenta ampliaciones	G _A : 20
Ampliación de una planta más pequeña que la principal. Una o más plantas con la misma configuración en planta e igual sistema de construcción	G _B : 40
Una o más plantas con la misma configuración estructural que la principal, pero con diferente sistema constructivo	G _C : 60
Una o más plantas con diferentes configuraciones que la principal, y diferente sistema constructivo	G _D : 80

Tabla 60*Grado de vulnerabilidad por ampliaciones horizontales*

Condición	Grado
Estructura no presenta ampliaciones	G _A : 20
Ampliación con un mismo sistema constructivo e igual número de plantas	G _B : 40
Edificio con igual sistema constructivo, pero con una diferencia de número de plantas. Ampliación con diferente sistema constructivo	G _C : 60
Ampliación con diferente sistema constructivo y diferencia en el número de plantas.	G _d : 80

Patologías en Sistemas Estructurales.

Es la parte de la ingeniería que estudia los síntomas, mecanismos, causas y orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema.

Para determinar estas patologías mediante la evaluación en campo, debe revisar toda la estructura accesible, debiendo hacerse un reconocimiento de la estructura del edificio (luces, secciones, tipología de los perfiles, arriostramientos, etc), de los sistemas de unión (geometrías de las uniones, disposición de los enlaces, dimensiones de algunos elementos como longitudes y tipo de soldadura, etc) y de los posibles defectos que pueda presentar la estructura (deformaciones, corrosión, etc).

Hormigón Armado y Mamposterías.

Las aberturas en los elementos estructurales y mampostería son los principales indicadores de que la estructura no está comportándose correctamente, por lo que es necesario tomar en cuenta las causas y efectos de este tipo de patologías.

Según Souza (2019): las aberturas en los elementos de una edificación construida con hormigón pueden clasificarse en tres tipos de acuerdo a su espesor y pueden producirse comúnmente en muros, vigas, columnas y losas, y son causadas por tensiones no previstas en los proyectos.

Las fisuras: Son aberturas estrechas o alargadas, menores a los 0,5 mm. En ocasiones no son visibles a simple vista, no implican problemas estructurales, pero a largo plazo pueden provocar consecuencias más graves. Es importante notar si la fisura evoluciona con el tiempo o permanece estable, porque puede ser la primera etapa de la fractura y de la grieta.

Las fracturas son aberturas más acentuadas y profundas, de 0.5 a 1.5 mm. Pueden ser visualizadas a simple vista y son mucho más peligrosas que las fisuras porque representa la ruptura del elemento estructural y puede afectar la seguridad del elemento. Si en la evaluación es identificada se debe recomendar un inmediato análisis estructural.

Las grietas son ranuras con aberturas mayores de 1.5 mm, profundas y bien marcadas, por lo que el aire y el agua puede penetrar al interior del elemento, y por lo tanto requiere de atención inmediata. Pueden causar corrosión de la armadura o reacciones químicas no deseadas en el material. No se deben cerrar simplemente sin buscar las causas y solucionar el problema que lo causó. Si en la evaluación es identificada es indispensable un análisis estructural.

Estructuras Metálicas.

Los principales problemas patológicos en estructura metálica se describen a continuación, los mismos que pueden observarse con la evaluación visual.

Tabla 61

Tipos de patologías en estructura metálica

Tipología	Causas
Corrosión	La corrosión es el ataque destructivo de los metales por reacción química o electroquímica con el medio que los rodea. Los tipos de corrosión más frecuentes en estructuras metálicas son: Corrosión por aireación diferencial, Corrosión de par galvánico (uniones), Corrosión localizada, Corrosión por picadura, Corrosión uniforme.
Erosión por abrasión	Se aprecia en la secciones de acero por el aspecto desgastado y liso de las superficies. Está relacionada con el trabajo de partes móviles en contacto o en elementos que sufren acción por el oleaje o partes sumergidas en líquidos.
Juego de las uniones	Es la causa de los deslizamientos en los nudos, provoca la deformación de la estructura, crea zonas de acumulación de tensiones muy elevadas y acrecentar la posibilidad de rotura por fatiga. Eso lleva a que se requirieran inspecciones regulares y la reparación inmediata en caso de ser necesario.
Efecto de la fatiga	Se define como la rotura de un elemento bajo esfuerzos repetidos y variables que producen tensiones iguales o inferiores a las consideradas como admisibles al proyecto. Los síntomas son pequeñas estrías perpendiculares a la dirección de las tensiones y son un grave peligro porque son difíciles de prever. Puede provocar el hundimiento de la obra sin aviso previo.

Tipología	Causas
Efecto del impacto	Se caracterizan por deformaciones localizadas en los elementos afectados, ondulaciones de débil longitud. Hay que tener especial cuidado de no confundirse con el aspecto que presentan los elementos afectados por tensiones de pandeo trabajando a compresión ya que ambos se manifiestan de manera muy similar pero mientras el pandeo es señal de efectos más profundos. Si se presentan deformaciones de aspecto de cresta de gallos o en elementos trabajando a tracción, se trata de un problema de impacto, mientras que el pandeo se manifiesta en forma de curva en S en ambos lados del eje del elemento.
Fuego	El fuego en estas estructuras provocan un gran debilitamiento de la resistencia del material, produciéndose notables deformaciones en los elementos componentes en la estructura

Nota: Recuperada de Jelpo y Padilla (2009).

Las uniones constituyen uno de los puntos más delicados a tener en cuenta en la estructura, debiendo identificarse el tipo de unión, ya que los defectos varían según la tipología.

- **Atornillado:** El problema más importante es la corrosión por aireación diferencial que puede surgir en las uniones, causando una pérdida de sección útil en los tornillos.
- **Soldadura:** Los procesos patológicos mecánicos son consecuencia de una sección de cálculo insuficiente o de una ejecución no uniforme. Las patologías químicas son causadas por incompatibilidad de aceros o con el material de aportación.

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad en caso de estructura metálica, se clasifica la patología en 3 tipos según su afectación hacia los elementos con este material.

Tabla 62*Tipos de condiciones para elementos metálicos*

Tipo I	Tipo II	Tipo III
Corrosión localizada	Corrosión por picadura (pitting) Aireación diferencial Erosión por abrasión Efectos de fuego	Corrosión uniforme, par galvánico (soldaduras, placas), Juego de uniones, efecto de fatiga

Estructuras de Madera.

Para la evaluación de las patologías de la estructura de madera, se debe atender a los puntos críticos, y zonas de riesgo de la madera.

- Puntos críticos: zonas con madera albura (madera joven), testas de las piezas, cabezas de las vigas en el apoyo dentro del muro, testas de vigas en voladizo expuestas a la intemperie, ensambles de piezas en una armadura, extremo inferior de soportes
- Zonas de riesgo: lugares ligados con fuentes de humedad que permiten el desarrollo de los hongos y facilitan la acción de algunos insectos xilófagos, piezas cercanas al suelo, apoyos de vigas en muros de fachada con repisa de balcones, forjados de galerías, forjados en locales húmedos, aleros y encuentro de la cubierta con el muro, paso de chimeneas en cubierta, forjados con cubierta plana y carpintería exterior (Jelpo & Padilla, 2009).

Los principales problemas que plantea la conservación de las obras en maderas se pueden diferenciar en grupos según quien los origina:

Daño por agentes bióticos:

- Pudrición: Proviene de algunos tipos de hongos que se nutren de la madera y provocan el hundimiento de la estructura celular del material. Los síntomas son ablandamiento y la decoloración de la madera.
- Agentes xilófagos: En zonas marítimas, la madera es atacada por una variada fauna local, que es roída hasta anular su existencia. Entre los tipos de organismos se citan los moluscos, el teredo corriente, crustáceos, etc. Los ataques son variados y dependen del tipo de organismo que ataque la madera.
- Insectos: Entre los insectos que atacan la madera están los coleópteros, termitas, hormigas y abejas carpinteras.
- Retracción: Provoca el agrietamiento de estructuras, y juego de las uniones

Daño por agentes abióticos:

- Agentes atmosféricos: La madera expuesta a la luz solar sufre un cambio de la coloración, que inicialmente toma un tono marrón y posteriormente color grisáceo, y la aparición de grietas superficiales, debido a la diferencia de contenidos de humedad en la zona superficial y zona interior. El deterioro de la madera expuesta a la intemperie es muy lento y la pérdida de madera es muy pequeña. La degradación que produce es superficial y generalmente no afecta las propiedades mecánicas de manera significativa.
- Acción del fuego: Los puntos más críticos de una estructura de madera en caso de incendio son las uniones y principalmente aquellas que utilizan elementos metálicos, que deberán ser objeto de una inspección detallada para conocer su estado.

- Efecto de la edad de la estructura: los estudios que actualmente se han realizado no han detectado ninguna variación en la resistencia de la madera como material con el paso del tiempo. La pérdida de capacidad portante que se puede encontrar en algunos casos está originada por otras razones muy distintas como es el deterioro producido por los agentes bióticos, o el aumento de las grietas si está expuesta a la intemperie.

Para evaluar las condiciones de vulnerabilidad en caso de estructura metálica, se clasifica la patología en 3 tipos según su afectación hacia los elementos con este material.

Tabla 63

Tipos de condiciones para elementos madera

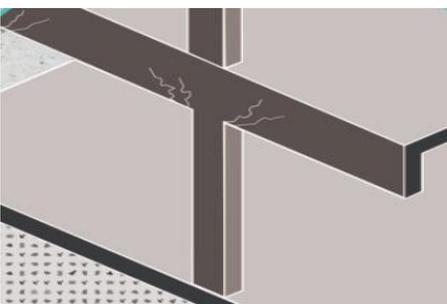
Tipo I	Tipo II	Tipo III
Degradación leve de la madera	Degradación parcial de la madera	Degradación grave de madera
Pudrición leve de madera	Pudrición parcial de madera	Pudrición grave de madera
		Juego de uniones
		Efecto de fuego en madera
		Humedad en madera

Patologías en Vigas.

En caso de que en la evaluación anterior se haya marcado la presencia de patologías, se debe identificar en que elementos estructurales o no estructurales se encuentra. Las vigas son los elementos que trabajan a flexión, para la evaluación de patologías se empieza con la identificación de grietas en vigas de hormigón armado (**Tabla 64**), el evaluador será capaz de identificar el tipo de grieta o fisura y cuál es la posible causa. Según su condición se le asignará a cada una el grado de vulnerabilidad correspondiente.

Tabla 64

Guía para identificar grietas en vigas

Condición de agrietamiento en vigas	Causas
<p>Grietas en viga por insuficiencia de armadura positiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de armadura longitudinal; • Anclaje insuficiente de armadura positiva; • Sobrecargas por encima de lo previsto en el cálculo estructural.
<p>Grietas en viga por insuficiencia de armadura negativa</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de armadura longitudinal (negativa) • Anclaje insuficiente de armadura negativa; • Sobrecargas por encima de lo previsto en el cálculo estructural.
<p>Grietas en viga por corte</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de armadura transversal (estribos); • Hormigón de baja resistencia; • Sobrecargas por encima de lo previsto en el cálculo estructural; • Estribos mal posicionados

Condición de agrietamiento en vigas	Causas
Grietas en viga por retracción del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Secado prematuro del hormigón (cura inadecuada provocada por evaporación del agua); • Contracción térmica debido a diferencia de temperatura; • Relación inadecuada agua-cemento; • Densificación inadecuada u hormigón mal vibrado.



Nota: Adaptada de Souza (2019).

Para las vigas metálicas se debe identificar en que condición, a criterio del evaluador, se encuentra el elemento, considerando que la corrosión es el principal enemigo de la estructura metálica ya que reduce su capacidad de resistencia y colocar el grado de vulnerabilidad más adecuado. También se identifica si las vigas han tenido algún otro tipo de patologías, principalmente se debe observar que tipo de unión presenta y en que condición se encuentra ya que esto permitirá reducir posibles fallas.

Figura 34

Tipo de patología en vigas metálicas (juego de uniones)



Nota: Esta figura indica un ejemplo de patologías en vigas metálicas. Recuperado de *Arquitectura+acero* (2020).

Para vigas de madera se identifica el estado de conservación del elemento, si se identifica pudrición se coloca el grado de vulnerabilidad con respecto al criterio del evaluador, cabe destacar que una estructura de madera puede ser identificada como altamente vulnerable si su estado presenta efectos de agentes atmosféricos, acción de hongos, insectos xilófagos y pudrición evidente.

Figura 35

Tipo de patología en vigas de madera (pudrición)



Nota: Esta figura indica un ejemplo de patología en madera. Recuperado de GrupoKioskoOnline. (2018)

Finalmente, las condiciones de vulnerabilidad serán aplicadas según el grado de afectación que pueda provocar en el elemento viga de cualquier tipo de construcción. En contraste, las vigas que no presente patología alguna, tendrá el mejor grado de vulnerabilidad.

Nota: En caso de que la estructura tenga más de dos patologías identificadas, se procederá a seleccionar la de peor efecto considerado, en ningún caso se marcará más de dos alternativas.

Tabla 65

Grado de vulnerabilidad patologías en vigas

Condición	Grado
Vigas sin presencia de patologías	G _A : 20
Grietas por retracción de hormigón, afectaciones tipo I (metálica o madera)	G _B : 40
Grietas en vigas por insuficiencia de armaduras positiva o negativa, afectaciones tipo II (metálica o madera)	G _C : 60

Condición	Grado
Grietas en viga por corte, afectaciones tipo III (metálica o madera), vigas flejadas	G _d : 80

Patologías en Columnas.

Las columnas son los elementos que trabajan principalmente a compresión para la evaluación de patologías se empieza con la identificación de grietas en columnas de hormigón armado (**Tabla 66**), el evaluador será capaz de identificar el tipo de grieta o fisura y cuál es la posible causa. Según su condición se le asignará a cada una el grado de vulnerabilidad correspondiente.

Tabla 66

Guía para identificar grietas en columnas

Condición de agrietamiento en columnas	Causas
<p>Grietas en columnas por represión en la fundación</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Recalque de fundación; • Carga superior a la prevista; • Resistencia inadecuada del hormigón.

Condición de agrietamiento en columnas	Causas
<p data-bbox="293 443 597 527">Grietas en columnas por insuficiencia de estribos</p> 	<ul data-bbox="824 443 1354 583" style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de estribos; • Sobrecarga de la armadura longitudinal; • Pandeo de la armadura longitudinal.

Nota: Adaptada de Souza (2019).

Para las columnas metálicas se debe identificar en que condición, a criterio del evaluador, se encuentra el elemento, para ello se aplica el tipo de patología considerada en la **Tabla 62**. También se determina si las columnas han tenido algún otro tipo de anomalías, ejemplo: posibles efectos de pandeo en la columna lo que permitirá tomar decisiones acertadas y reducir posibles fallas.

Para columnas de madera se debe identificar en que condición, a criterio del evaluador, se encuentra el elemento, para ello se aplica el tipo de patología considerada en la **Tabla 63**. También se determina si las columnas han tenido otro tipo de anomalías, ejemplo: posibles efectos de pandeo, lo que permitirá tomar decisiones acertadas y reducir posibles fallas.

Finalmente, las condiciones de vulnerabilidad serán aplicadas según el grado de afectación que pueda provocar en el elemento viga de cualquier tipo de construcción. En contraste, las columnas que no presente patología alguna, tendrá el mejor grado de vulnerabilidad. **Nota:** En caso de que la estructura tenga más de dos patologías identificadas, se

procederá a seleccionar la de peor efecto considerado, en ningún caso se marcará más de dos alternativas.

Tabla 67

Grado de vulnerabilidad por patologías en columnas

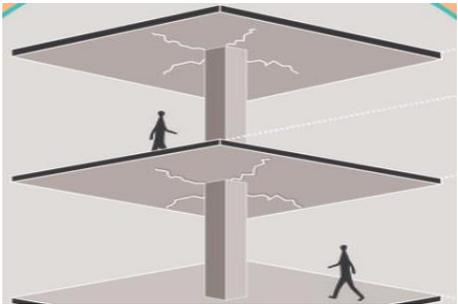
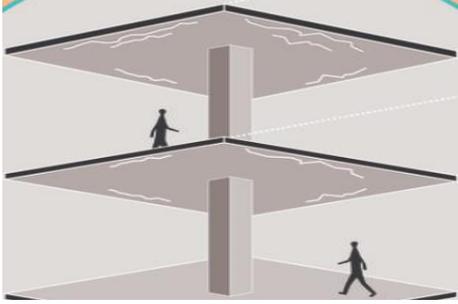
Condición	Grado
Columnas sin presencia de patologías	G _A : 20
Fisuras, afectaciones tipo I (metálica o madera)	G _B : 40
Grietas en columnas por represión en la fundación, afectaciones tipo II (metálica o madera)	G _C : 60
Grietas en columnas por insuficiencia de estribos, afectaciones tipo III (metálica o madera)	G _C : 80

Patologías en Losas de Entrepiso y Cubiertas Planas.

Para la evaluación de patologías en losas de entre piso y las cubiertas planas se considera las construidas con hormigón armado (tradicionales en Ecuador), y ciertos mezanines de distintos materiales de construcción que deberán ser considerados en los comentarios de las evaluaciones. Primeramente, en las losas de hormigón armado se debe identificar la presencia de aberturas de la forma que lo indica en la guía de la **Tabla 68**, el evaluador será capaz de identificar el tipo de grieta o fisura y su posible causa. Según su condición se le asignará a cada una el grado de vulnerabilidad correspondiente (Ver **Tabla 69**). Además, en este tipo de elemento se puede identificar las deformaciones de las losas que pueden ser un indicador de sobrecarga, u otro tipo de falla estructural.

Tabla 68

Guía para identificar grietas en losas

Condición de agrietamiento en losas	Causas
<p>Grietas en losas por insuficiencia de armadura positiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia de armadura positiva • Sobrecarga por encima de lo previsto en el cálculo estructural • Anclaje insuficiente de la armadura.
<p>Grietas en losas por sobrecarga excesiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor insuficiente del hormigón • Sobrecarga por encima de lo previsto en el cálculo estructural.

Nota: Adaptada de Souza (2019).

Losas de entre Piso, Cubiertas Planas y Mezanines de Material Alternativo al Hormigón.

Para sustituir las losas de concreto, y aligerar el peso de la estructura siendo capaz de soportar grandes cargas y volúmenes se han implementado nuevos sistemas constructivos como placas de acero, construcciones mixtas Steel – deck con hormigón (estructura mixta), entablados de madera continuos de como losas o mezanines, estos últimos han sido desarrollados además para ampliar la superficie útil de la estructura aprovechando los espacios verticales. Para las losas conformadas por placas de acero, o por tablonos de madera se especifica las condiciones

de la **Tabla 62** y **Tabla 63** dado para su material de construcción, en el cual deberá observarse su estado actual para evaluar el grado de vulnerabilidad patología de losas

Finalmente, las condiciones de vulnerabilidad serán aplicadas según el grado de afectación que pueda provocar en el elemento viga de cualquier tipo de construcción. En contraste, las losas que no presente patología alguna, tendrá el mejor grado de vulnerabilidad.

Cubiertas no Planas.

La evaluación se considera en GV3.

Nota: En caso de que la estructura tenga más de dos patologías identificadas, se procederá a seleccionar la de peor efecto considerado, en ningún caso se marcará más de dos alternativas.

Tabla 69

Grado de vulnerabilidad por grietas en losas de entrepiso y cubiertas planas

Condición	Grado
Losas sin presencia de patologías	G _A : 20
Fisuras, afectaciones tipo I (metálica, acero, madera)	G _B : 40
Grietas en losa por insuficiencia de armadura, Afectaciones tipo II (metálica, acero, madera)	G _C : 60
Grietas en losas por sobrecarga excesiva, afectaciones tipo III (metálica, acero, madera), deformación de la losa	G _d : 80

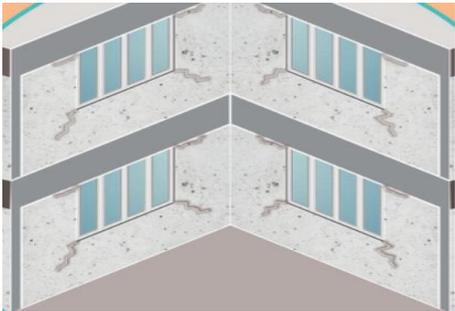
Patologías en Paredes.

Al observar una pared defectuosa se debe reconocer tanto la causa como el efecto que podrían generar las patologías. Una fisura puede tener múltiples orígenes, en algunos casos una rápida mirada será suficiente para determinar el origen de la misma, pero en la mayoría de los

casos no es así. Para la evaluación se requiere identificar el mampuesto utilizado en la pared, (tales como ladrillos, bloques de cemento prefabricados, piedras talladas en formas regulares e irregulares). Posteriormente, las paredes deben identificar la presencia de grietas (**Tabla 70**), el evaluador será capaz de identificar el tipo de grieta o fisura y cuál es la posible causa. Según su condición se le asignará a cada una el grado de vulnerabilidad correspondiente. En éste tipo de estructuras también se puede identificar presencia de humedad (problemas de filtración), acción de hongos o moho, producto de acción térmica, entre otros.

Tabla 70

Guía para identificar grietas en paredes

Condición de agrietamiento en paredes	Causas
<p data-bbox="277 1073 781 1171">Grietas en esquinas de ventanas y puertas</p> 	<ul data-bbox="829 1073 1421 1228" style="list-style-type: none"> • Sobrecargas imprevistas; • Dintel y alféizar inexistentes o mal ejecutados

Condición de agrietamiento en paredes	Causas
Fracturas o grietas horizontales o verticales en fachadas	<ul style="list-style-type: none"> • Unión prematura de la albañilería; • Deficiencia en el método de unión; • Deformaciones de flexión de losas y vigas que soportan las paredes.
 <p>Este diagrama muestra una fachada con una estructura de vigas y losas. Se observan grietas horizontales y verticales que indican un agrietamiento de la mampostería.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de corte
Fracturas o grietas inclinadas en fachadas	
 <p>Este diagrama muestra una fachada similar a la anterior, pero con grietas inclinadas que indican un agrietamiento causado por tensión de corte.</p>	

Nota: Adaptada de Souza (2019).

Las paredes internas o divisorias, son mamposterías que no conllevan un efecto importante en la resistencia de la estructura, como podría dar las paredes exteriores. Sin embargo, la calidad de estos elementos (pueden ser de distintos materiales como secciones mixtas de madera, láminas de acero recubiertas con fibrocemento, entre otros), mediante la **Tabla 62** y **Tabla 63**, para los materiales más recurrentes en el medio (acero y madera).

Finalmente, se asigna el grado de vulnerabilidad a cada una de las condiciones, dando la mejor puntuación cuando en ninguna de losa se pueda observar estas grietas. **Nota:** En caso de

que la estructura tenga más de dos patologías identificadas, se procederá a seleccionar la de peor efecto considerado, en ningún caso se marcará más de dos alternativas.

Tabla 71

Grado de vulnerabilidad por patología en paredes

Condición	Grado
Paredes sin presencia de patologías	G_A: 20
Grietas en esquinas de ventanas y puertas, humedad localizada, afectaciones tipo I (laminas metálicas y de madera)	G_B: 40
Fractura o grietas horizontales o verticales en fachadas, afectaciones tipo II (laminas metálicas y de madera), humedad generalizada, acción de hongos y moho.	G_C: 60
Fractura o grietas inclinadas en fachadas, afectaciones tipo III (laminas metálicas y de madera)	G_D: 80

Vulnerabilidad de Elementos No Estructurales (GV3)

Elementos No Estructurales (Externos).

En caso de movimiento sísmico se debe considerar a los elementos no estructurales externos que puedan caer y obstaculizar la movilidad de los estudiantes dentro de la unidad educativa, estos pueden ser parapetos, cisternas altas, cubiertas livianas, chimeneas, entre otros. Para ello se debe considerar la presencia de estos elementos para evaluar la vulnerabilidad de la edificación; siendo la ausencia de los mismos el mejor grado de vulnerabilidad esperado.

Tabla 72*Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales externos*

Condición	Grado
No hay presencia de elementos no estructurales elevados	G _A : 20
Los elementos no estructurales observados se encuentran con adecuada colocación, fijación, o buen empotramiento con la estructura	G _B : 40
Los elementos no estructurales observados se encuentran con inadecuada colocación, fijación, o buen empotramiento con la estructura	G _C : 60
Los elementos no estructurales observados se encuentran con un alto riesgo de caída ante un movimiento sísmico	G _d : 80

Elementos No Estructurales (Internos).

En caso de movimiento sísmico se debe considerar a los elementos no estructurales que hay dentro de cada aula, laboratorio, oficina, y demás que puedan hacer daño y obstaculizar la movilidad de la comunidad escolar, estos pueden ser estanterías, archiveros, gabinetes, cielos rasos, instalaciones eléctricas, entre otros. Para ello se debe considerar la presencia de estos elementos para evaluar la vulnerabilidad de la edificación; siendo una adecuada colocación e instalación de los mismos el mejor grado de vulnerabilidad esperado.

Tabla 73*Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales internos*

Condición	Grado
Los elementos no estructurales internos presentan una adecuada colocación e implementación	G _A : 20

Condición	Grado
Los elementos no estructurales internos presentan una deficiente colocación e implementación	G _B : 40
Los elementos no estructurales internos presentan una mala colocación e implementación	G _C : 60
Los elementos no estructurales internos se encuentran con un alto riesgo de caída ante un movimiento sísmico	G _d : 80

Estado de Conservación de la Edificación.

El estado de conservación es una condición a criterio del evaluador que permite indicar la situación general de la edificación, en las cuales describe de manera breve el estado de mamposterías, elementos y sistemas estructurales, también elementos no estructurales que forman parte de la estructura, para ello se tiene 4 niveles, según la apreciación del evaluador.

Muy bueno: La calificación está relacionada con el estado de la construcción, el estado de la pintura en la fachada, estado de las cubiertas, estado de puertas, ventanas, entre otros. En general el edificio es adecuado, no hay signos de patologías.

Bueno: Las edificaciones presentan una adecuada conservación de su estructura, sin embargo, se nota el paso del tiempo, hay presencia de pequeños indicios de deterioro.

Regular: Las edificaciones presentan una inadecuada conservación de su estructura, se percibe un maltrato por el paso del tiempo, y hay una falta de atención de sus componentes.

Deficiente: Las edificaciones no presentan una conservación adecuada de las instalaciones, son estructuras abandonadas, o en desuso. Presentan deterioros en el sistema estructural y no estructural.

Tabla 74*Grado de vulnerabilidad por estado de la edificación*

Estado de conservación	Grado
Muy bueno	G _A : 20
Bueno	G _B : 40
Regular	G _C : 60
Deficiente	G _d : 80

Estado de Conservación de Cubiertas.

Mediante una evaluación visual, se puede determinar el estado de conservación de cubiertas (a criterio del evaluador), su tipología y el material que lo reviste, para ello durante la inspección se recomienda acudir a las zonas más altas para una mejor observación. En la sección de comentarios de la evaluación colocar el tipo de cubierta y el material identificado.

Tabla 75*Tipos de cubiertas comunes en Ecuador*

Tipo de cubierta	Descripción
Cubierta a dos aguas 	<p>Es la más común y se conforma por dos faldones que pueden ser simétricos o asimétricos. Presenta un buen sistema de drenaje, facilita la ventilación y se adapta a diferentes diseños arquitectónicos. Por lo general se recubre por tejas de barro cocido, teja francesa y colonial.</p>

Tipo de cubierta	Descripción
Cubierta a cuatro aguas	Es una cubierta más compleja que la de dos aguas, suele estar compuesta por 4 faldones. Es bastante popular pero, no permite una ventilación óptima. Este tipo de cubierta ofrece un mejor rendimiento en zonas con vientos fuertes.
	
Cubierta con faldones de mansarda	La cubierta con faldones de mansarda y cabeza es más difícil de construir que la cubierta a dos o a cuatro aguas. Los faldones de mansarda tienen más inclinación que los faldones de cubierta, al igual que en la cubierta amansardada. Esto permite aprovechar mejor el espacio interior del techo.
	
Cubierta plana	La mayoría de las cubiertas planas no son planas al 100 %, sino que están ligeramente inclinadas. Esta inclinación sutil permite drenar mejor el agua. Los materiales de construcción principalmente son de hormigón, estructuras mixtas (Steel framing - hormigón).
	
Cubierta a un agua	La cubierta a un agua se caracteriza por tener un solo faldón de cubierta inclinado hacia un lado. Este diseño se suele utilizar en ampliaciones y con otros estilos de cubierta.
	

Tipo de cubierta	Descripción
Cubierta en mariposa 	<p>La cubierta en mariposa es un diseño moderno y estético en el que los faldones de la cubierta se inclinan hacia dentro. Este tipo de cubierta aporta mucha luz y ventilación, pero resulta problemático para drenar el agua de lluvia.</p>
Cubierta abuhardillada 	<p>La cubierta abuhardillada se caracteriza por incluir ventanas de buhardilla para aportar luz e incrementar el espacio existente. Las ventanas de buhardilla (a dos aguas, planas, etc.) sobresalen y crean espacio útil fuera de la cubierta, además de aportar luz natural adicional.</p>
Cubierta de pabellón 	<p>Cubre un espacio poligonal, a tantas aguas como lados tiene su base. Las vertientes son triangulares, por lo que todos se unen por su ángulo superior y originan su vértice muy agudo.</p>
Otro tipo de cubierta no especificado 	<p>Finalmente existen configuraciones poco convencionales, que deben describirse en la sección comentarios, Por ejemplo existen cubiertas tipo bóveda cilíndrica, bóveda vaída, bóveda en arista, paraboloide hiperbólicos, cúpulas, entre otros. Deben indicar que tipo de techo las recubre</p>

Nota: Adaptada de CUPAPIZARRAS (2019).

Tabla 76*Grado de vulnerabilidad por estado de conservación de cubiertas*

Estado de conservación de cubiertas	Grado
Muy bueno	G _A : 20
Bueno	G _B : 40
Regular	G _C : 60
Deficiente	G _d : 80

Puertas de Salida, o Emergencia.

Las puertas son un elemento importante al momento de una emergencia son los primeros elementos que deben ser evaluados ya que por ahí la los estudiantes y demás personal evacuará de las aulas, laboratorios, oficinas para su resguardo, por lo que de acuerdo al Consejo Metropolitano de Quito (2003) establecen las normas básicas para las puertas de salida, o salidas de emergencia de edificios las cuales deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Las puertas deben tener un ancho mínimo libre de 0.90 m y altura 2.05 m.
- Las puertas deben contar con un ángulo de apertura máximo entre 135° y 180° y deben ser abatibles hacia el exterior sin que sus hojas obstruyan pasillos o escaleras. En caso de obstaculizar el paso se recomienda la colocación de puertas corredizas o plegables.
- Se recomienda eliminar y dejar de utilizar las cerraduras tipo pomo, y dar paso a cerraduras tipo palanca o de accionamiento, o automáticas
- En puertas debe dejarse un espacio libre cerca de la apertura (0.45- 0.55 m), la profundidad del espacio libre debe ser de 1.20 adicional al barrido de la puerta.

- Las agarraderas de las puertas y sus cerraduras deben ser fáciles de manipular por las personas con discapacidad y movilidad reducida; las puertas deben tener una barra horizontal ubicada entre 0.80 m. y 1.20 m (de preferencia 0.90 m) a nivel del suelo.

El mejor grado de vulnerabilidad será asignado al mayor porcentaje de puertas que cumplan con los anteriores requisitos. En caso de un alto porcentaje de puertas que no cumplan estos requisitos básicos informar y recomendar el cumplimiento de los mismos.

Tabla 77

Grado de vulnerabilidad por puertas de salida o emergencia

Condición	Grado
75 – 100% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	G _A : 20
50 – 74% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	G _B : 40
25 – 49% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	G _C : 60
0 – 24% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	G _d : 80

Ventanas.

Las ventanas pueden ser usadas como opción de salida de emergencia en caso de que las puertas estén abarrotadas de estudiantes, por lo que deben ser destruidas, en caso de ser necesario, y colocando cortinas, alfombras, cuadernos y otros materiales en sus bordes para evitar cortes en los estudiantes.

Las dimensiones de las ventanas están condicionadas principalmente por la altura del nivel del ojo de una persona en posición sedente esta dimensión se sitúa en 1.2 m. estableciendo la prioridad para personas en silla de ruedas, niños, y personas de talla baja; el nivel visual de una persona ambulante está determinado en una altura de 1.6 m. a estas alturas

determinadas se debe considerar el ángulo de visión de 30° hacia arriba y hacia abajo (CONADIS, 2018).

Se recomienda que se utilice vidrios templados, ya que este material se desgrana al romperlos y no forman puntas afiladas que pueden causar cortes. El mejor grado de vulnerabilidad será asignado para el mayor porcentaje de ventanas que cumplan con los criterios de accesibilidad universal y diseño para todos.

Tabla 78

Grado de vulnerabilidad por ventanas

Condición	Grado
75 – 100% cumple con requisitos básicos	G _A : 20
50 – 74% cumple con requisitos básicos	G _B : 40
25 – 49% cumple con requisitos básicos.	G _C : 60
0 – 24% cumple con requisitos básicos	G _d : 80

Accesibilidad Universal.

Los edificios escolares deben cumplir con requisitos básicos para una accesibilidad inclusiva, esto es un entorno amigable para la comunidad escolar con discapacidades, como el personal o estudiantes que usan sillas de ruedas, Algunas de estas normas según Consejo Metropolitano de Quito (2003) y CONADIS (2018):

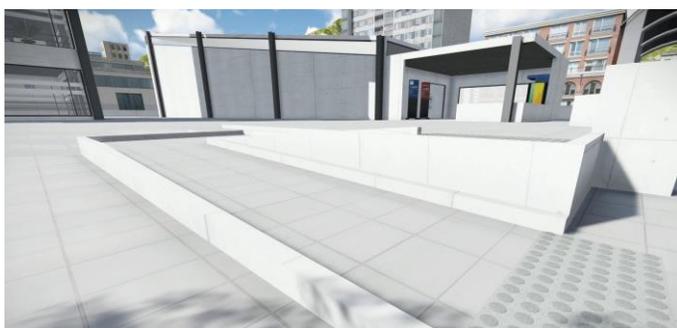
Circulaciones Horizontales y Verticales.

Rampas: Se define como un elemento que facilita la circulación y acceso no solo a personas con discapacidad en sillas de ruedas sino que también es utilizado por personas en condición discapacitante, adultos mayores, madres embarazadas, personas con coches de bebé,

entre otros; su aplicación permite complementar y asegurar el acceso a una edificación cuando se complementa a las escaleras existentes para salvar desniveles desde la acera.

Figura 36

Rampas



Nota: Esta figura indica un ejemplo de un espacio con accesibilidad universal, en este caso una rampa.

Recuperado de CONADIS (2018).

La pendiente transversal máxima de la rampa es del 2%, además las pendientes longitudinales máximas para los tramos de rampa (entre descansos), están en función de la extensión de los mismos, medidos en su proyección horizontal, las pendientes son medidas en porcentaje (%) de inclinación:

- Hasta 15 metros de pendiente tendrá un porcentaje de inclinación de 6 - 8 %
- Hasta 10 metros de pendiente tendrá un porcentaje de inclinación de 8 - 10 %
(incorpora pasamanos)
- Hasta 3 metros de pendiente tendrá un porcentaje de inclinación de 10 - 12 %
(incorpora pasamanos)

El ancho libre mínimo de obstáculos de una rampa unidireccional será de 0.90m que permite el cruce de una silla de ruedas, coches de bebés, y bicicletas. Cuando se considere un

giro de 90° la rampa debe tener un ancho libre de 1.00m, mientras que si se considera un giro mayor a 90° el ancho libre mínimo será de 1.20 m. Cuando se diseñe rampas con un ancho mayor a 1.80 m. se recomienda el uso de pasamanos intermedios. Cuando una rampa salve desniveles de más de 20 cm se debe implementar bordillos.

Si una rampa supera los 15 m. en proyección horizontal debe contener obligatoriamente un descanso (entre tramos o frente a cualquier acceso), la dimensión mínima del descanso será de 1.20m por el ancho de la rampa. Cuando una puerta o ventana se abra hacia el descanso se debe aumentar a la dimensión mínima (1,20 m) el barrido de la puerta o ventana.

Escaleras: Son la solución más adecuada para salvar desniveles, sin embargo son excluyente cuando únicamente se tiene esta opción ya que limita su uso y acceso a personas con sillas de ruedas, en condición discapacitante, con movilidad reducida y quienes lleven bultos o coches de bebé, entre otros.

El ancho mínimo de las escaleras son de 1.20 m, Las contrahuellas deben tener una altura máxima de 18 cm, mientras que las huellas deben cumplir la relación:

$$b = 0,64m - 2(a) \quad (18)$$

Donde:

- b : Dimensión de huella
- a : Altura de contrahuella

Toda escalera podrá tener tramos continuos sin descanso de hasta diez escalones como máximo, sin embargo si se prevé un número mayor de escalones se deberán incorporar

descansos. Los descansos en edificios públicos o privados deben permitir la inscripción de una circunferencia cuyo diámetro mínimo será de 1.20 m.

Las escaleras deben incorporar pasamanos a ambos lados y serán continuos en todo su recorrido; cumplirán con prolongaciones horizontales no menores de 30 cm. al comienzo y al final de las escaleras, el ancho entre pasamanos debe ser de 1.00 m y la distancia del pasamanos a la pared debe ser de 5 cm.

Tabla 79

Grado de vulnerabilidad por accesibilidad universal

Condición	Grado
Se identifica satisfactoriamente las normas básicas para accesibilidad inclusiva	G_A: 20
Deficiente implementación de normas básicas para accesibilidad inclusiva	G_B: 40
En proceso de implementación de normas básicas para accesibilidad inclusiva	G_C: 60
No se ha implementado ninguna norma básica para accesibilidad inclusiva	G_d: 80

Complemento de Vulnerabilidad

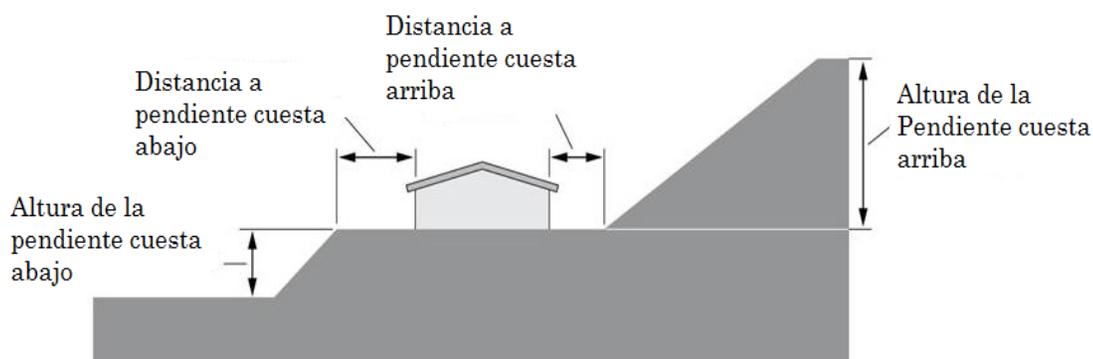
Los evaluadores tendrán un apartado dentro de los formularios, donde podrán identificar riesgos potenciales dentro de la estructura, que pueden ser de tipo estructural, no estructural o geológicos para ello una condición adicional se presenta y es debida a los taludes cercanos que pueden ocasionar un deslizamiento

Taludes Cercanos.

Las condiciones de terreno permiten verificar los posibles riesgos de deslizamientos de tierra. Para la evaluación se debe considerar la distancia entre el edificio (d) y la altura de la pendiente (h), ya sea por debajo o encima del nivel del edificio. Si la distancia desde el lado más cercano del edificio hasta la pendiente es menor al alto de la pendiente, se traduce en un riesgo potencialmente alto.

Figura 37

Edificación con peligro potencial de deslizamiento de tierra



Nota: Esta figura representa las potenciales afectaciones por taludes cercanos. Recuperado de FEMA P-154 (2015).

Asentamientos.

Las cargas transmitidas por las cimentaciones al suelo dan lugar a deformaciones del terreno que se traducen en asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos, por encima de los tolerables, podrán originar una pérdida de la funcionalidad, producir fisuras, agrietamientos, u otras patologías (Moreno Cansado, 2016).

Las principales causas de los asentamientos son:

- El desecamiento de las capas superficiales del terreno.
- La presencia de plantas con extenso sistema de raíces.
- La rotura de tuberías, alcantarillado, etc.
- Las excavaciones adyacentes al edificio.
- La diversidad en la dimensión y la profundidad de la cimentación en las diferentes áreas del edificio.
- Los suelos con diferente composición litológica.
- Vibraciones.

Para la detección de asentamientos en edificaciones, durante la inspección visual se puede identificar señales principalmente de fisuras que comienzan desde las plantas bajas, o inclinaciones leves de la estructura, este tipo de anomalías deben anotarse en el complemento de vulnerabilidad para una urgente análisis de estructural por parte de un por parte de un profesional.

Figura 38

Señales visuales de asentamientos de edificios



Nota: Estas figuras indican las señales visuales de que un edificio está asentándose en el terreno.

Recuperada de Urettek (2020).

Interpretación del Puntaje de Grado de Vulnerabilidad

El grado de vulnerabilidad indica al evaluador que las edificaciones de la unidad educativa presentan deficiencias en sus sistemas estructurales y/o no estructurales por lo que debe mejorar sus condiciones actuales. Se considera tres rangos de resultados de la evaluación, los mismos que el evaluador debe identificar y en base a ellos elaborará un informe, describiendo lo que ha podido observar, para finalmente establecer los pasos a seguir, identificando principalmente la peor condición, para priorizar los recursos como ya se ha explicado anteriormente.

Tabla 80*Grado de Vulnerabilidad Sísmica*

Rango	Grado de Vulnerabilidad (V)	Observaciones
60 < valor ≤ 80	Alto	Debe realizarse un análisis estructural
40 < valor ≤ 60	Medio	Evaluar mediante FEMA P-154, para descartar o confirmar la realización de un análisis estructural
20 < valor ≤ 40	Bajo	Tomar las recomendaciones emitidas por los evaluadores

Una vez obtenida la vulnerabilidad son varios los usos que puede darse como:

- **Obtener el riesgo sísmico de una estructura:** Mediante modelos uniparamétricos, con variables como la vulnerabilidad e intensidad del terremoto, se puede obtener las matrices de probabilidad de daño preliminares utilizadas en el estudio de riesgo sísmico, este método se basa en el proyecto EMS-98 descrito por Grünthal (1998).
- **Obtener el riesgo global de una unidad educativa:** considerando otro tipo de variables como la población o el uso de determinado edificio, y la capacidad de respuesta institucional, se puede valorar el riesgo global y categorizar a cada unidad educativa en base al riesgo que representa, esta metodología se basa en el índice de riesgo de escuelas propuesta en “Protección de escuelas ante terremotos” de Lopez (2008).

Evaluación rápida de las Estructuras Mediante FEMA P-154

Cuando el grado de vulnerabilidad se encuentra en un rango medio se debe realizar un procedimiento complementario de los formularios presentados, el cual permite identificar si los

edificios evaluados son o no vulnerables y de este modo se designará si requiere un análisis estructural por parte de un profesional especialista. Los formularios de FEMA P-154 (2015) presentan un sistema de puntuación que necesita que los evaluadores sean los mismos que realizaron la evaluación previa, para ello Erazo Villacis y Salgado Saltos (2016) mencionan las destrezas que los evaluadores podrán tener:

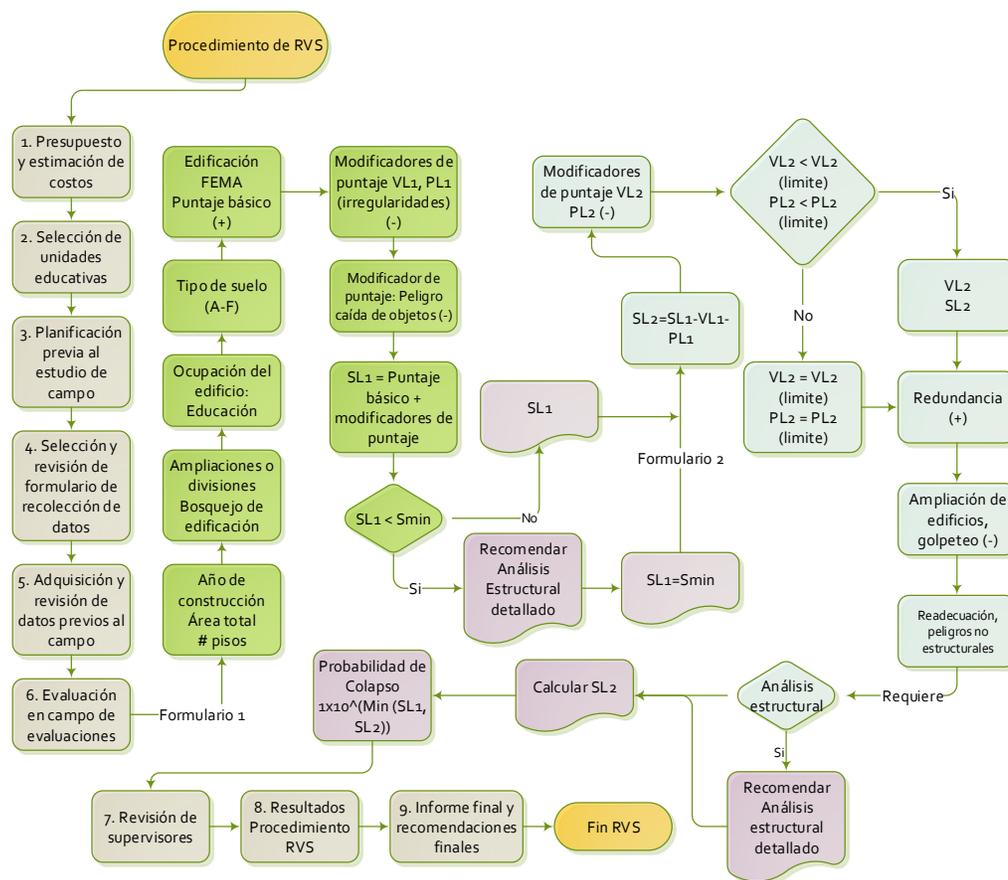
- Determinar la tipología de la edificación mediante el material de construcción principal de la estructura y el sistema sismo resistente de cada edificio.
- Identificar las deficiencias en la estructura que podrían modificar su desempeño sísmico.

La puntuación se basa en niveles promedio de movimiento del suelo para una Zona Sísmica que refleja el diseño sismo resistente y las prácticas constructivas de cada región (Erazo Villacis & Salgado Saltos, 2016). El puntaje de evaluación es calculado a partir del punto de desempeño sísmico del edificio, mientras más alto es el puntaje significa que la estructura se considera como sismo resistente y que puede reducir el riesgo de colapso durante un terremoto. En tanto, un puntaje bajo significa que es necesaria una evaluación por parte de un especialista en diseño sísmico, con el fin de evaluar de manera más rigurosa y exhaustiva las posibles acciones para reducir la vulnerabilidad de las estructuras.

Procedimiento de Evaluación Mediante FEMA P-154

Figura 39

Procedimiento para evaluación rápida de estructuras de FEMA



Planificación Previa al Estudio de Campo

Son los datos de cada unidad educativa, que se puede encontrar en sitios web, como la dirección, el nombre, el sitio de su ubicación, y los valores de respuesta espectral S_s y S_1 que ya fue calculado anteriormente, también en caso de poseer información acerca de los riesgos geológicos cercanos permitirá una mejor recolección de información. Toda aquella información sobre las características de las edificaciones, planos arquitectónicos, estructurales, son

necesarios. El estudio de suelos, es recomendado para determinar a cuál grupo pertenece, sin embargo, en caso de ausencia de este dato se puede asumir un valor entre C y D, ya que el formulario toma valores promedio entre estos dos tipos de suelo.

Selección y Revisión de Formulario de Recolección de Datos

El formato correcto para la recolección de datos está en base al nivel de sismicidad de la zona en donde se va a efectuar la evaluación. Hay cuatro formatos para los diferentes rangos de sismicidad que únicamente se diferencian por el valor de los puntajes, mas no en su estructura. FEMA P-154 (2015) Utiliza los parámetros S_s y S_1 para la clasificación de la zona sísmica, valores que se obtienen de la respuesta máxima aceleración para el sismo máximo considerado para un período corto ($T=0.2s$) y para un periodo largo ($T=1s$). En Características Sísmicas de Sangolquí, se encontró los valores promedios de la respuesta espectral para la parroquia de Sangolquí, por lo tanto, el formato que se va a utilizar es para una Zona de Muy Alta Sismicidad.

Adquisición y Revisión de Datos Previos al Campo

Información más específica de las Unidades Educativas, la cual pueden ser otorgada por la misma institución o por el municipio y que describen detalles como, área de las instalaciones, año de construcción, número de pisos y por lo tanto se puede seleccionar un tipo de edificio FEMA. Estos datos serán confirmados durante la evaluación de la estructura.

Evaluación de Edificaciones (Apéndice B - Formularios FEMA P-154)

Formulario de Recolección Nivel 1.

Tabla 81

Generalidades en Formulario de recolección de Nivel 1

Generalidad	Descripción
Número de Plantas:	Es el número de pisos que contiene la edificación evaluada.
Año de construcción	Es la edad en la que la unidad educativa fue construida (puede ser un estimado), está relacionada al diseño y prácticas constructivas, pueden incidir en el puntaje final.
Área de construcción	Se estima multiplicando el área de cada planta con el número de plantas.
Ampliaciones o divisiones	Si presenta ampliaciones dentro de la edificación se procede a marcar que sí, caso contrario no.
Fotografías de la Edificación	Se debe tomar fotografías completas de la unidad educativa para identificar las características importantes de potencial riesgo en caso de emergencia.
Bosquejo de la Edificación	El evaluador tendrá la posibilidad de dibujar a mano un pequeño bosquejo de la edificación, considerando irregularidades geométricas, distancias de adosamientos, entre otras.
Ocupación de la Edificación:	Es el uso que se da a la estructura, en este caso se selecciona "Educación", ya que son las unidades educativas públicas o privadas destinadas a educar. Se identifica el número de edificios con las que cuenta la institución. Se selecciona además una asignación especial en caso de que la estructura perteneciera al tipo Histórica ó patrimonial, gubernamental o refugio.
Tipos de suelo	Se marca el tipo de suelo correspondiente en el que está asentada la unidad educativa. (Tipos A-F). En caso de no existir un estudio de suelos se marca el suelo tipo "D".
Riesgos geológicos	Licuefacción: Suelo saturado, e inestable. Deslizamiento: Desprendimiento de masas de tierra provocado por la inestabilidad de un talud cercano.

Generalidad	Descripción
Adyacencia	Es la presencia de espacios entre edificaciones contiguas la separación está en relación de la zona de amenaza sísmica
Tipo de edificio FEMA	La selección del tipo de edificio FEMA, está a cargo del evaluador, dentro de las 17 combinaciones de estructuras debido al tipo de material de construcción observado.
Irregularidades (VL1, PL1) y otros peligros	Las irregularidades son en planta y elevación y están relacionadas específicamente con el diseño arquitectónico y el uso del a estructura.
Peligro de caída de objetos	Los peligros de caída de elementos en el exterior presentan un riesgo de caída en caso de sismos, en donde pueden caer elementos estructurales y no estructurales.
Daños y deterioros	La metodología RVS, revisa condiciones visibles como: <ul style="list-style-type: none"> - Deformación de elementos estructurales, techos, mamposterías. - Agrietamiento de elementos estructurales. - Estado actual de los materiales. - Patologías en estructuras metálicas, madera, entre otros.
Puntaje Mínimo (Smin)	El puntaje mínimo considera la peor combinación entre las características propias de un edificio evaluado como el año de construcción, tipo de suelo e irregularidades.
Puntaje final del Nivel 1 (SL1)	Se obtiene a través del puntaje básico y los modificadores de puntaje. Cuando el valor resultante es menor que Smin, se toma el valor del puntaje mínimo.
Extensión de revisión	Se evalúa si fue posible el acceso total (exterior e interior de la Unidad Educativa)
Documentación de la evaluación de los resultados de Nivel 2	Si se desea realizar una evaluación más detallada se procede al formulario del Nivel 2, donde se consideran condiciones adicionales descritas en la Tabla 82.
Acción final requerida	La acción final requerida, se determinar en función al criterio del evaluador que indicará si se requiere un estudio estructural detallado, por parte de un especialista, pudiendo escoger una de las alternativas dadas en el formulario.

Nota: Adaptada de Erazo Villacis y Salgado Saltos (2016).

Formulario de Recolección Nivel 2.

Tabla 82

Generalidades en Formulario de recolección de Nivel 2

Característica	Descripción
Puntaje ajustado - Nivel 2 (S')	$S' = SL1 - VL1 - PL1.$
Modificadores de puntaje	Al igual que el nivel 1 se selecciona cada modificador que sea aplicable a al edificio evaluado, caso contrario, se lo tacha. Se puede hacer un comentario donde requiera.
Irregularidades en elevación	Se incluyen modificadores para la mayoría de irregularidades, los cuales deben ser seleccionados y sumados dando un subtotal que, en caso de superar el valor tope, se utiliza el valor máximo debido al desempeño de la estructura. Cuando se presenta otro tipo de irregularidad no contemplada en el formulario, como condición especial ya sea una piscina en la terraza o similar, se establece "Otra irregularidad" queda a criterio del evaluador determinar si es un efecto moderado o severo.
Irregularidades en planta	Se adicionan otros casos de irregularidad y codificadores de puntaje. Sin embargo, se considera un máximo valor para estimar el desempeño que se espera de la estructura.
Redundancia	Existe un suficiente nivel de redundancia si el edificio presenta dos vanos con sistemas estructurales en una sola dirección y a cada lado de la estructura. Por lo que se debe aplicar un modificador de puntaje positivo.
Golpeteo	Esta característica puede representar un problema si existe una estructura adyacente que esté separada del edificio evaluado por menos del 1% de la altura de la estructura más baja (Erazo Villacis & Salgado Saltos, 2016).

Característica	Descripción
Ampliaciones en edificios	Ante la presencia de una ampliación será decisión del evaluador considerar como una solo edificio o de forma independiente para la evaluación. Cuando las edificaciones son construidas en la misma obra de construcción, con diferente sistema constructivo en altura, no se debe considerar que tienen una ampliación.
Aspectos específicos del tipo de Estructuración	Existen ciertas condiciones que afectan al desempeño estructural del edificio, por lo que en ocasiones se toma en consideración las condiciones descritas en el formulario.
Readecuaciones	De existir algún tipo de mejoramiento observable a los edificios evaluados se aplicará un modificador de puntaje positivo. En el caso de readecuaciones parciales deben ser anotadas en la sección de comentarios, sin aplicar el modificador de puntaje
Puntaje final del Nivel 2 (SL2)	$SL2 = S' + VL2 + PL2 + M$ (otros aspectos considerados). En ocasiones el resultado SL2 resulta mayor que SL1, debido a que los modificadores de puntaje son menos conservadores. En el caso de que se requiera una evaluación estructural detallada se debe colocar en el formulario Nivel 1 además de un comentario cuando exista la presencia de una condición de riesgo potencial para el edificio. SL2 también es restringido respecto al puntaje mínimo (S_{min}) del formulario Nivel 1.
Peligros no estructurales	Los elementos no estructurales no afectan directamente en la probabilidad de colapso ya que los principales riesgos son de caída, o desplome. El evaluador podrá escribir las observaciones en la sección de comentarios, posterior a la evaluación debe seleccionar las opciones emitidas en el formulario de nivel 1.
Comentarios	Anotar las observaciones de condiciones especiales durante la evaluación del edificio o también los problemas presentados si es el caso.

Nota: Adaptada de Erazo Villacis y Salgado Saltos (2016).

Riesgo de Colapso – FEMA P-154

Finalmente, El valor final obtenido con los formularios Nivel 1 y Nivel 2 de FEMA P-154 se obtiene la probabilidad de riesgo de colapso de la estructura

$$R_c = 10^{pte} \quad (19)$$

Donde

$$R_c = \text{Probabilidad de riesgo de colapso}$$

El valor de probabilidad de riesgo de desastre corresponde a la relación de casos favorables en el número de casos posibles. Ejemplo 1: Si el puntaje obtenido por la evaluación FEMA P-154 a una edificación dentro de la Unidad Educativa tiene un valor de 2 la probabilidad de colapso viene dado por $10^2 \approx 100$. Esto indica que la probabilidad de riesgo de desastre es de 1 en 100 (0.01%).

Revisión de Resultados

Después de completar la evaluación, los evaluadores deben escanear los formularios completos y cualquier nota o boceto adicional, en conjunto con fotografías, se debe entregar a los ingenieros supervisores, los mismos que deben revisarlos, comparando las evidencias fotografías con las características del edificio señaladas, corrigiendo inconsistencias. Los resultados obtenidos deben ser verificados nuevamente, considerando particularmente que los puntajes base y modificadores fueron los adecuados.

En las evaluaciones mediante FEMA P-154, se debe revisar si la transferencia del puntaje de Nivel 2 al formulario de Nivel 1 se realizó de manera adecuada, y finalmente, el Ingeniero

Supervisor verificará si se tomó en cuenta “otros peligros” al determinar si se requiere una evaluación estructural detallada.

Discusión y Difusión de Resultados

Los resultados de la evaluación de vulnerabilidad de las unidades educativas, serán descritos en el informe final en conjunto con las recomendaciones e indicaciones por parte de los Ingenieros Supervisores estos resultados serán tabulados en hojas de cálculo las mismas que en el futuro servirán como datos estadísticos de vulnerabilidad a nivel parroquial.

Resumen del Capítulo

Se ha elaborado formularios en el Apéndice B, para el cálculo del grado de vulnerabilidad física de edificios dentro de unidades educativas, en función del año de construcción, ya que considerar una normativa que no cumpla un adecuado desempeño o incluso que no posea este criterio de diseño será más susceptible a sufrir daños en su estructura, tanto por la falla de los sistemas estructurales como de los elementos no estructurales. Adicionalmente, estas características se ven afectadas por los diferentes grupos de vulnerabilidad, los cuales el evaluador deberá determinar si tiene un impacto grande en el edificio a fin de poder asignarle el grado de vulnerabilidad que lo representa.

Riesgo Sísmico y Riesgo Global de Unidades Educativas

Como se ha identificado en capítulos anteriores, mediante el grado de vulnerabilidad calculado y relacionándolo con otras variables permite obtener un valor de riesgo que es la probabilidad de que una estructura pueda sufrir daños materiales, sociales o económicos ante el movimiento del suelo, por lo que en este capítulo se describirá la aplicación de las diferentes investigaciones para obtener el riesgo sísmico de una estructura (R_s) y el riesgo global de las unidades educativas (R_g).

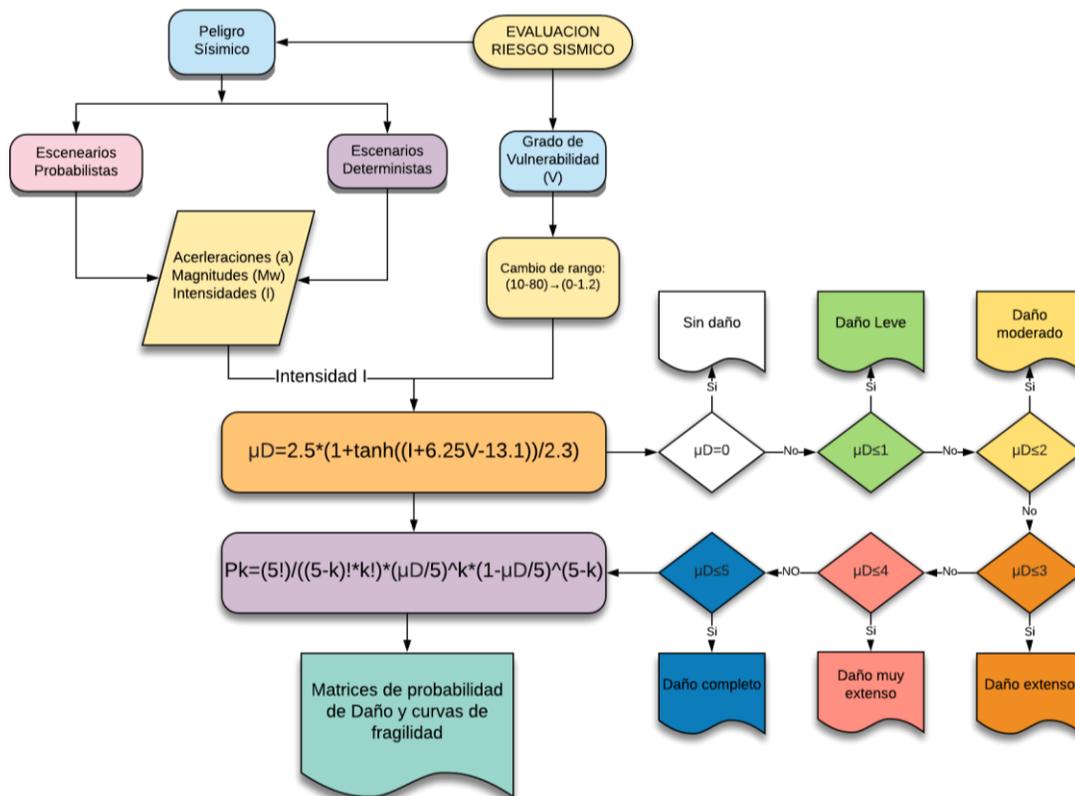
Procedimiento para Obtener el Riesgo Sísmico de una Estructura (R_s)

$$R_s = P \times V \quad (20)$$

Lagomarsino y Giovinazzi (2006), propusieron una fórmula semiempírica que permite relacionar el índice o grado de vulnerabilidad con la intensidad macrosísmica para obtener los estados de daño medio. Con el valor de daño medio se puede elaborar las matrices de probabilidad de daño, que para su cálculo Grünthal (1998), establece que los estados de daño cumplen un comportamiento de distribución binomial. Finalmente, el objetivo de este procedimiento es graficar las curvas de fragilidad empíricas, que es un resultado preliminar muy válido en el estudio de riesgo.

Figura 40

Flujograma para evaluar el riesgo sísmico en edificaciones



Peligrosidad Sísmica

Sangolquí se encuentra en una zona de sismicidad muy alta, se le ha asignado un grado de intensidad VIII en la escala MM, gracias a la investigación de Chicaiza Bósquez (2016) acerca de los espectros de control en el Valle de los chillos, sin embargo la historia nos indica que la parroquia ha experimentado terremotos con intensidades (IX) por lo que el buen diseño sísmico resistente y el diseño en base al desempeño deben predominar en las construcciones de uso especial y esencial (MIDUVI & CAMICON, 2014).

Estados de Daño

Como se explicó anteriormente, los escenarios de daño se establecen a fin de identificar las consecuencias de que un terremoto golpee con cierta intensidad a un edificio o grupo de edificios de un determinado lugar, por lo que el presente proyecto se basa en la interpretación de los estados de daño propuestos en el EMS-98 (Grünthal, 1998).

Tabla 83

Grado o estado de daño esperados para edificios

Grado o estado de daño	Rango de factor de daño	μ_D	Descripción
Sin daño	0	0	Sin presencia de daño, no ha ocurrido el terremoto
Leve	0.01-1.00	0.5	Sin daño estructural - leve daño no estructural Fisuras finas en los revestimientos y enlucidos. Caída de pequeños trozos de revestimiento de paredes.
Moderado	1.01-2.00	1.5	Daño estructural leve – daño no estructural moderado Fisuras en columnas, vigas y muros estructurales. Grietas en paredes, caída de grandes trozos de revestimiento de paredes, caída de elementos pesados de la cubierta.
Extenso	2.01-3.00	2.5	Daño estructural moderado – considerable daño no estructural Grietas y roturas de columnas y en las uniones viga-columna. Deformación del acero de refuerzo, Grietas anchas y profundas en las paredes, caída de elementos no estructurales

Grado o estado de daño	Rango de factor de daño	μ_D	Descripción
Muy extenso	3.01-4.00	3.5	Daño estructural severo, daño no estructural muy severo Grandes grietas en elementos estructurales con fallos a compresión; fallo de las uniones de las vigas. Deformación de algunas columnas aberturas en paredes y muros resistentes. Colapso de columnas o de algún piso superior
Destrucción	4.01-5	4.5	Daño estructural muy severo Colapso total o parcial del edificio

Nota: Adaptada de Grünthal (1998).

Matrices de Probabilidad de Daño MPD

Las matrices de probabilidad de daño representan la interacción entre un determinado escenario sísmico y el daño que se espera, también define la probabilidad de que cada edificio sufra un nivel de daño. Para construir las MPD es necesario definir una clasificación en función principalmente del año de construcción o de tipologías constructivas de los edificios (Moquete Rosario, 2012). El presente proyecto está basado en el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV), que define la acción sísmica mediante la intensidad macrosísmica, y el edificio mediante un índice de vulnerabilidad. El Método del Índice de Vulnerabilidad con base en la EMS-98, considera seis grados de daño que va desde grado (0) sin daño, a grado (5) daño completo (Lantada, 2007).

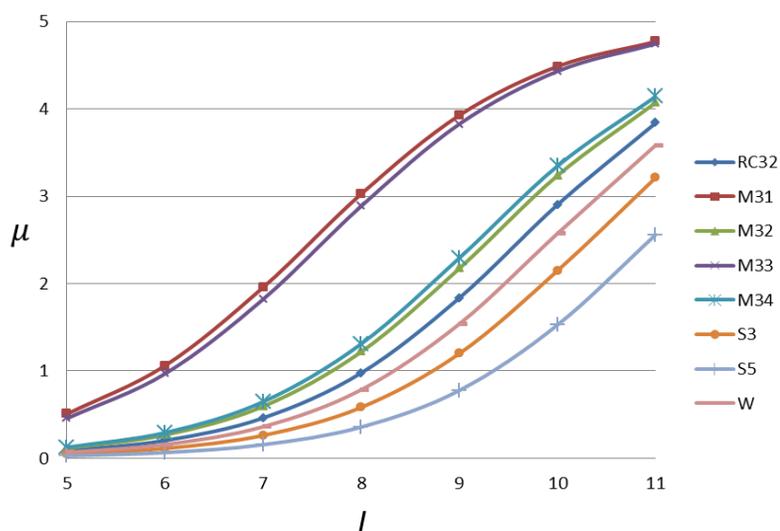
Una vez definido y ajustado el índice de vulnerabilidad mediante los procesos descritos anteriormente, se utiliza la ecuación (9) que permite determinar el daño medio ($\mu_D = d^*$) esperado para un escenario sísmico específico definido mediante la intensidad macrosísmica y

permiten calcular las probabilidades de daño de cada estado o grado de daño. μ_D representa el grado o estado de daño más probable (Moquete Rosario, 2012). Por ejemplo, un valor $\mu_D = 0$ indica que la probabilidad de todos los estados de daño distintos del estado de daño nulo (0) es nula, mientras que un valor $\mu_D = 5$ indica que la probabilidad del estado de daño completo es 1; finalmente un valor $\mu_D = 1.3$, indica que el estado de daño más probable de ese edificio o colección de edificios, varía entre leve y moderado, siendo más probable el estado de daño leve (Lantada, 2007).

Un ejemplo de la aplicación de esta metodología se muestra en la **Figura 41** donde se indica el resultado de aplicar la función semiempírica a los edificios de escuelas de educación primaria de Barcelona. En este caso, el índice de vulnerabilidad $\bar{\mu}$ ha sido promediado para todos los edificios de una misma tipología, y posteriormente calculado para cada intensidad.

Figura 41

Funciones semiempíricas de vulnerabilidad



Nota: Esta figura indica las funciones de vulnerabilidad para las tipologías representativas de las edificaciones de educación primaria, estudiadas en Barcelona. Recuperado de Moquete Rosario (2012)

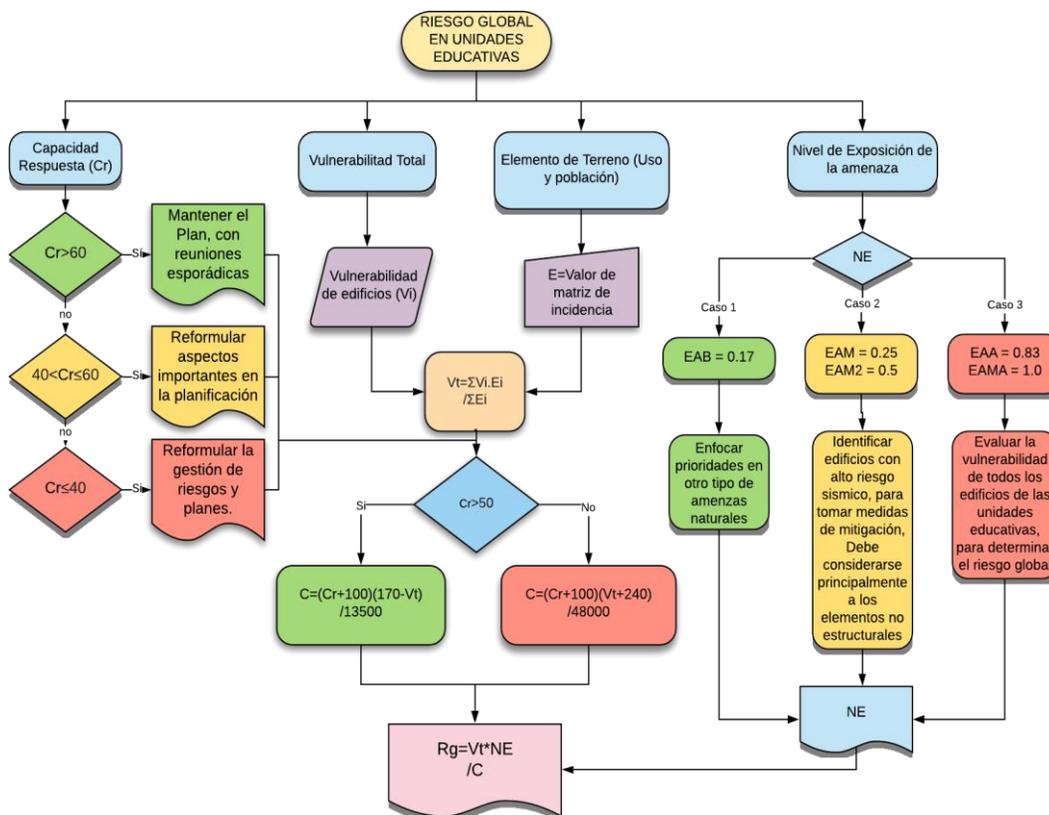
Procedimiento de Evaluación de Riesgo Global (Rg)

$$Rg = \frac{V_{total}}{C} \times NE \quad (21)$$

El objetivo principal de evaluar el riesgo global, es el de categorizar a las unidades educativas en función del riesgo que poseen ante terremotos. Para ello, el procedimiento se realiza de manera similar al cálculo del índice de riesgo sísmico descrito por Lopez (2008), en donde a cada nivel de exposición se han asignado valores que permiten aumentar o reducir el valor de riesgo global. El elemento de terreno (población) se considera para cada una de los edificios dentro de la unidad educativa y representan tanto el número de personas como el uso del mismo. Finalmente, a diferencia a la investigación de Lopez (2008), se considera un coeficiente de capacidad, mismo que se obtiene calificando la Capacidad de Respuesta de toda la unidad educativa, para ello se ha elaborado un formulario en **Apéndice B** – Capacidad de Respuesta, e influye positiva o negativamente en la calificación final.

Figura 42

Flujograma para evaluar el riesgo global de unidades educativas



Nivel de Exposición de la Amenaza (NE)

Al haber delimitado la parroquia de Sangolquí como la zona de interés para el presente proyecto, se considerará como dato conocido el nivel de exposición a la amenaza (NE) que fue definido gracias al estudio realizado en capítulos anteriores. Donde, se determinó que las unidades educativas se encuentran en una zona de amenaza sísmica entre “Alta” y “Muy Alta”, por lo que se considera como condición crítica, un nivel de exposición a la amenaza “Muy Alta”.

Siendo el nivel de exposición a la amenaza un factor importante para obtención el riesgo global de unidades educativas, se le asignarán valores cuantitativos a cada uno de los cinco niveles de amenaza tomando en cuenta que mientras menor sea el nivel de exposición, será menos probable que ocurra un desastre. Por lo tanto, al nivel de exposición de amenaza más alto se le asignará el valor de 1.0 y se irá reduciendo para cada uno de los siguientes niveles. Esta reducción se realiza en proporción con los valores medios de los intervalos de aceleraciones espectrales según FEMA (véase **Tabla 34**) que definen las zonas de riesgo sísmico, independientemente de la vulnerabilidad.

Tabla 84

Nivel de exposición a la Amenaza

Nivel de Exposición a la Amenaza	Valor asignado
Muy Alta (AMA)	1.00
Alta (AA)	0.83
Moderada-Alta (AM2)	0.50
Moderada (AM)	0.25
Baja (AB)	0.17

Vulnerabilidad Total

Para el cálculo de la vulnerabilidad total, una de las mejores alternativas es manejar esta información a través de la matemática de conjuntos difusos. Rondón et al. (2008a) , establece que la aritmética difusa se utilizó para relacionar las calificaciones de vulnerabilidad con su respectivo valor de importancia. El método tradicional para combinar información difusa con diferentes peso o importancia es el llamado Promedio Ponderado Difuso, el cual fue utilizado en

este proyecto de investigación para calcular el valor total de vulnerabilidad sísmica de edificaciones (Rondón et al., 2008b), que se expresa como:

$$V_{total} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (22)$$

Donde:

- V_{total} : es la vulnerabilidad significativa de toda la unidad educativa.
- V_i : es una medida del grado de vulnerabilidad de cada edificación i .
- E_i : es un valor que brinda la importancia asociada con la edificación i con respecto a las demás. Este elemento se considera el elemento de terreno (población, ocupación de la estructura).

Elemento de Terreno (E).

Cada una de las edificaciones dentro de la unidad educativa, poseen cierto grado de importancia en función del uso y el número de personas (entre estudiantes, profesores) que se encuentra en determinado momento, como el terremoto no presenta una alerta que se pueda controlar, se considera que la estructura va a encontrarse ocupada en el momento del fenómeno natural, para ello se propone una matriz de valores de importancia que servirán para calcular la vulnerabilidad total.

Tabla 85

Importancia de edificación según elemento de terreno

Uso	Población de la edificación			
	De 1 a 10	De 10 a 50	De 50 a 100	Más de 100
Enfermería	5	5	5	5
Aulas	3	4	5	6
Laboratorios	3	4	5	6
Oficinas	3	4	5	N/A
Comedor	2	4	5	N/A
Baños	2	3	N/A	N/A
Bodega	1	N/A	N/A	N/A
Coliseo	N/A	4	5	6

Capacidad de Respuesta (Cr)

La evaluación de capacidad de respuesta se realiza en general a toda la unidad educativa, ya que la forma de responder ante la emergencia (revisados en el **Estudio de la Gestión del Riesgo en Unidades Educativas Basado en FEMA P-1000 y Otras Normas** debe ser el mismo para todos los miembros de la comunidad educativa. Para esta evaluación se ha desarrollado un formato similar a la evaluación de vulnerabilidad descrita en la sección previa, sin embargo, las condiciones de capacidad serán opuestas y el mejor grado de capacidad tendrá el máximo valor de 80 puntos. El puntaje se debe a que un valor de 100 indicaría una capacidad que incluye las distintas reformas, políticas y planificaciones emitidas por un ente

gubernamental, seccional o municipal (lo que no se considera en el presente proyecto), y un puntaje de 0 indicaría un absoluto desconocimiento de cómo actuar ante una emergencia, este es descartable ya que las unidades educativas deben presentar sus planes de emergencia a la secretaría de gestión de riesgos municipales para su revisión y emisión de los permisos de funcionamiento.

Tabla 86

Grados de Capacidad de respuesta

Grado	Descripción	Puntaje
G_A	Cumple satisfactoriamente, elaborado e implementado	80
G_B	Parcial, aceptable, elaborado, pero no implementado	60
G_C	En proceso, escaso, mínimo, existe, pero es deficiente	40
G_D	No cumple, no ha sido planificado, no elaborado, está junto al factor de riesgo	20

Tabla 87

Ejemplo de formato de evaluación de capacidad de respuesta

N°	Condición	GA 80pts.	GB 60pts.	GC 40pts.	GD 20pts.
1	Condición 1	X			
2	Condición 2		X		
4	Condición 3			X	
CONTEO DE RESPUESTAS		1	1	1	0
PUNTAJE		x20 80	x40 60	x60 40	x80 0
SUMATORIA		180	/ 3 (Número de condiciones del formulario)		
PUNTAJE FINAL DE CAPACIDAD DE RESPUESTA (Cr)		60			

Interpretación del Puntaje de Capacidad de Respuesta

Este puntaje indica al evaluador que la unidad educativa requiere o no mejorar las condiciones de respuesta en las que se encuentran, ya que una planificación adecuada puede reducir el impacto de la vulnerabilidad de los edificios escolares mediante los planes desarrollados para afrontar los eventos naturales, además este valor entre más alto minimiza el riesgo global. Debido a ello en caso de un bajo nivel de capacidad se recomienda una reformulación de los planes de respuesta, incluidos la conformación de equipos de planificación, implementación de protocolos o anexos más específicos, entre otros. Por otra parte, un alto valor de capacidad quiere decir que la unidad educativa cuenta con recursos suficientes para

enfrentar una emergencia y la recomendación final está en base a las deficiencias encontradas durante la evaluación.

Tabla 88

Grado de Capacidad de Respuesta

Rango	Grado de Capacidad (Cr)	Observaciones
20 < valor ≤ 40	Bajo	Reformular inmediatamente el POE, equipo de planificación. Mantener reuniones diarias para maximizar el nivel de capacidad.
40 < valor ≤ 60	Medio	Reformular aspectos relevantes que puedan aumentar el nivel de capacidad. Mantener reuniones constantes para identificar las debilidades.
60 < valor ≤ 80	Alto	Mantener el Plan de Operación de Emergencia, reforzarlo anualmente, y mantener reuniones esporádicas.

Cálculo del Coeficiente de Capacidad (C)

Este coeficiente es un valor que afecta a la vulnerabilidad total de la unidad educativa, incrementándola o reduciéndola, dependiendo del puntaje obtenido en el formulario de Capacidad de respuesta.

Fácilmente se podría transformar la escala de Cr (20 a 80) a una nueva escala con valores cercanos a uno (de 0.8 a 1.2, por ejemplo) para modificar V en cierta cantidad dependiendo del valor de Cr, pero esto presenta un problema debido a que el comportamiento de estas variables no es tan simple en la realidad. También se debe tomar en cuenta que mientras más alto el valor de la vulnerabilidad que presenta una edificación, el efecto que tiene

la capacidad de respuesta sobre ella es menor; y mientras más bajo el valor de V , el tener o no una buena capacidad de respuesta afectará en mayor medida a la vulnerabilidad de la edificación.

Por lo tanto, se define a C como una función que depende de los valores de la Vulnerabilidad total y la Capacidad de Respuesta (Cr) de la unidad educativa a la que pertenece; y se calculará mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Si } Cr \leq 50 \Rightarrow C = \frac{(Cr + 100) \cdot (Vt + 240)}{48\,000} \quad (23)$$

$$\text{Si } Cr > 50 \Rightarrow C = \frac{(Cr + 100) \cdot (170 - Vt)}{13\,500} \quad (24)$$

Estas ecuaciones fueron obtenidas mediante una metodología heurística para la solución de problemas, que Martí (2003) define como: “un procedimiento para resolver un problema definido mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución”.

Categorización de las Unidades Educativas

Las Unidades educativas finalmente serán acreditadas en función de los datos obtenidos de vulnerabilidades, capacidades y riesgos, asignado cinco categorías (A-F) según el riesgo que representa desarrollar las actividades dentro de sus instalaciones, siendo A la categoría de una escuela ideal donde el riesgo es mínimo casi nulo.

Tabla 89

Categorías de unidades educativas según el riesgo global

Nivel de Riesgo Global	Estimación del riesgo global	Descripción	Categoría
$R_g \leq 15$	Bajo	No se identifica un riesgo global relevante. El riesgo global está controlado. Las medidas preventivas existentes reducen eficientemente el riesgo	A
$15 < R_g \leq 30$	Moderado	Se ha detectado que existe entre el 6% y 22% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que se debe implementar medidas preventivas que puedan reducir de forma apreciable los potenciales riesgos.	B
$30 < R_g \leq 45$	Moderado alto	Se ha detectado que existe entre el 22% y 45% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que debe implementar medidas preventivas más estrictas ya que las condiciones actuales no son lo suficiente para manejar emergencias.	C

Nivel de Riesgo Global	Estimación del riesgo global	Descripción	Categoría
45 < Rg ≤ 75	Alto	Se ha detectado que existe entre el 45% y 78% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que debe implementar medidas preventivas como: refuerzo de edificaciones vulnerables, reformular los planes de operación ante emergencias, y capacitar a todo el personal ya que es muy probable que se produzca un desastre.	D
75 < Rg ≤ 100	Muy alto	Se ha detectado más del 78% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que las actividades dentro de ella no pueden continuar. No se refleja un conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo, y existen muchas edificaciones con un alto grado de vulnerabilidad.	E

Aplicación Adicional: Modelo de Víctimas

Según Moquete Rosario (2012): El análisis de riesgo sísmico es una tarea multidisciplinar, que aparte del daño físico directo requiere otros tipos de análisis, más aún cuando se realiza un análisis probabilístico. Intentar aproximar el número de víctimas, en este caso basada en la cantidad de personas con que normalmente se cuenta en unidades educativas, es un análisis que complementa este estudio. Entendiendo como víctimas, el número de heridos y fallecidos. Específicamente, el modelo considera cuatro categorías de víctimas:

- heridos leves
- heridos que requiere hospitalización
- heridos graves, que obviamente necesitan hospitalización
- personas fallecidas.

El modelo a utilizar es el propuesto en el trabajo de Coburn y Spence (1992). Que requiere como datos básicos, para la estimación de víctimas, la probabilidad de ocurrencia de los estados de daño y la densidad y distribución de la población en el instante de ocurrido el terremoto. Dado un tipo de edificios y una categoría de personas dañadas, modelan el número de víctimas con la siguiente ecuación, particularmente para cada edificio:

$$K_s = D_5 \times \left(M_1 \times M_2 \times M_3 \times \left(M_4 + M_5 \times (1 - M_4) \right) \right) \quad (25)$$

Donde:

- D_5 es el número de edificios colapsados, se obtiene multiplicando el número de edificios de una determinada clase por la correspondiente probabilidad de colapso.
- M_1 es el número de personas que se encuentran dentro de la unidad educativa en el momento del terremoto (comunidad educativa).
- M_2 es el porcentaje de ocupación de la población estudiantil dentro de la unidad educativa durante un día normal de clases se considera el peor escenario un día normal de clases de 9:00 a 13:00 durante el transcurso del año lectivo.
- M_3 es el porcentaje de ocupación de la población estudiantil dentro de los edificios que quedan atrapados por su colapso. Este porcentaje se determina en base a estimaciones

particulares para cada clase de tipología estructural, y que pueden resultar un poco subjetivas si no se tiene una idea aproximada del posible comportamiento del edificio.

- $M_1 \times M_2 \times M_3$ Representa el número de personas que quedan atrapadas en un edificio dañado por efecto del terremoto.
- M_4 Representa el número de fallecidos causados directamente por el colapso del edificio.
- M_5 Representa la mortalidad post terremoto.

Para el cálculo de víctimas se cita el ejemplo descrito en Moquete Rosario (2012): En una unidad educativa que colapsa, se encontraban 100 personas entre profesores, estudiantes, personal administrativo y entre otros (M_1), y al momento del terremoto el 90% de las personas se encontraban dentro de las instalaciones (M_2), de las cuales quedan atrapadas el 50% (M_3). Entonces, el producto $M_1 \times M_2 \times M_3 = 45$ y representa el número de personas que no han podido abandonar los edificios. Considerando M_4 con valores del 30%, 25%, 20% y 25% para heridos leves, heridos que requieren hospitalización, heridos graves y fallecimientos directos, respectivamente.

Entonces, resultan:

$$\textit{Heridos leves} = 45 \times 30\% = 13.5$$

$$\textit{Heridos que requieren hospitalización} = 45 \times 25\% = 11.25$$

$$\textit{Heridos graves} = 45 \times 20\% = 9$$

$$\textit{Fallecidos directos} = 45 \times 25\% = 11.25$$

El modelo supone que estas cuatro clases de víctimas representan el 100% de las personas atrapadas.

$$\text{Personas atrapadas vivas} = 45 - 11.25 = 33.75$$

Finalmente, la mortalidad post-colapso entre las personas atrapadas es del 30% (M_5). Es decir:

$$\text{Fallecidos post terremoto} = 33.75 \times 30\% = 10.13$$

$$\text{Número total de fallecidos} = 10.13 - 11.25 = 21.38$$

Este procedimiento coincide con esta parte de la ecuación del trabajo de Coburn et al. (1992).

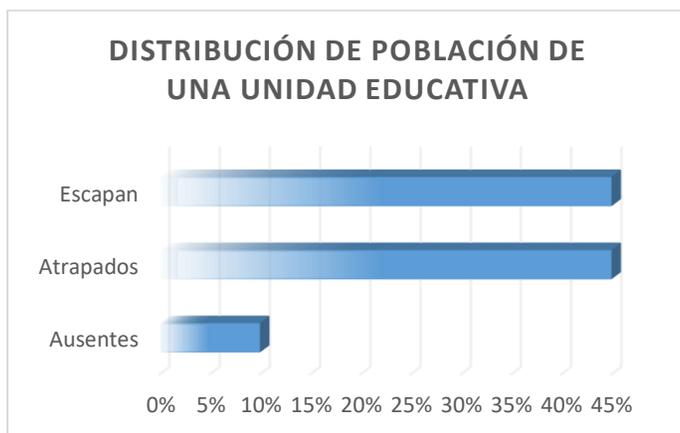
$$\left(M_1 \times M_2 \times M_3 \times (M_4 + M_5 \times (1 - M_4)) \right)$$

$$\left(45 \times (25\% + 30\% \times (1 - 25\%)) \right)$$

Al ser un estudio probabilista es recomendable afinar bien los valores de los parámetros utilizados. Como se trata de probabilidades o tasas de ocurrencia se recomienda mantener los números con decimales. La **Figura 43** y **Figura 44** detallan los resultados del ejemplo anterior.

Figura 43

Distribución de la población de una unidad educativa

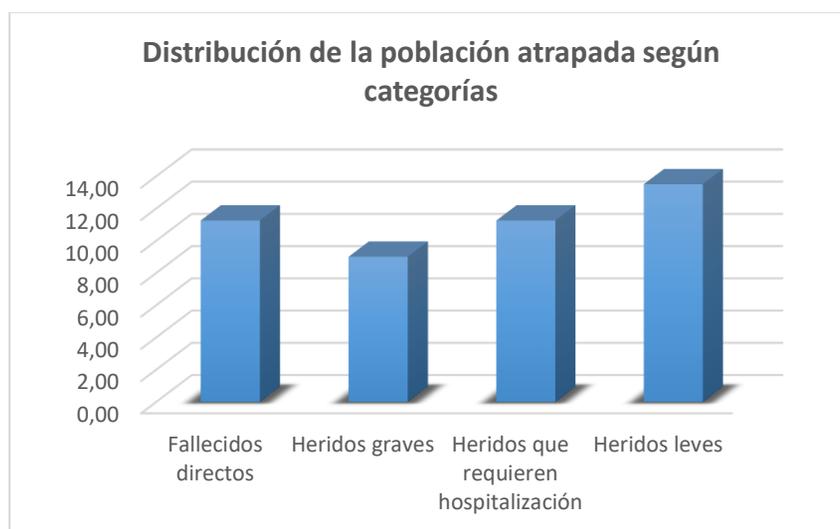


Nota: Esta figura representa una ficticia distribución de población dentro de una unidad educativa.

Adaptado de Moquete Rosario (2012).

Figura 44

Distribución de población en unidad educativa



Nota: La figura representa una ficticia distribución de la población atrapada según las categorías de “heridos leves”, “heridos requieren hospitalización”, “heridos graves” y “fallecidos directo” dentro de una unidad educativa. Adaptada de Moquete Rosario (2012).

Este análisis es un complemento al cálculo de riesgo sísmico, sin embargo, en el presente proyecto de investigación no se aplicará debido a que no se posee una muestra de datos suficientemente amplia, ya que solo se ha estudiado la vulnerabilidad de una sola Unidad Educativa. Se necesitaría de una muestra representativa de las Unidades Educativas de la zona de estudio para poder estimar mejor los factores utilizados en esta metodología.

Resumen del Capítulo

Mediante el grado de vulnerabilidad y otras variables como la capacidad de respuesta, la ocupación e importancia de edificios, la peligrosidad sísmica, y el nivel de exposición de amenaza, se ha logrado calcular el riesgo sísmico de los edificios dentro de una unidad educativa y el respectivo riesgo global que representa a toda la institución evaluada.

Estudio de Caso: Evaluación del Grado de Vulnerabilidad de Unidad Educativa

Descripción del Estudio de Caso

Nombre de la Unidad Educativa seleccionada: Unidad Educativa Particular “Santa Ana”

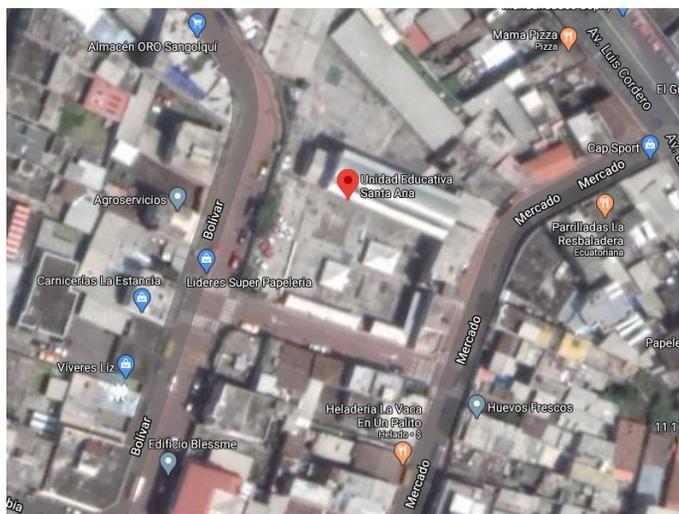
Ubicación: Colón 132 y Bolívar, 171106, Sangolquí, Pichincha, Ecuador

Coordenadas: 0°19'39"S – 78°26'51"

Cota de construcción aproximada promedio: 2498 m.s.n.m

Figura 45

Ubicación de Unidad Educativa Particular “Santa Ana”



Nota: Esta figura fue obtenida del programa Google Earth

Tabulación de Datos

Descripción General

La Unidad Educativa Particular “Santa Ana”, presenta 10 edificios los cuales se indican en el croquis de la **Figura 46** Tiene una población estudiantil de 420 alumnos, 21 docentes, y 8 personas en el área administrativa. Cabe destacar que entre la comunidad educativa se

encuentra un estudiante (mujer) con discapacidad en la sección básica, que necesita una atención prioritaria.

Figura 46

Croquis de la U.E. Particular "Santa Ana"

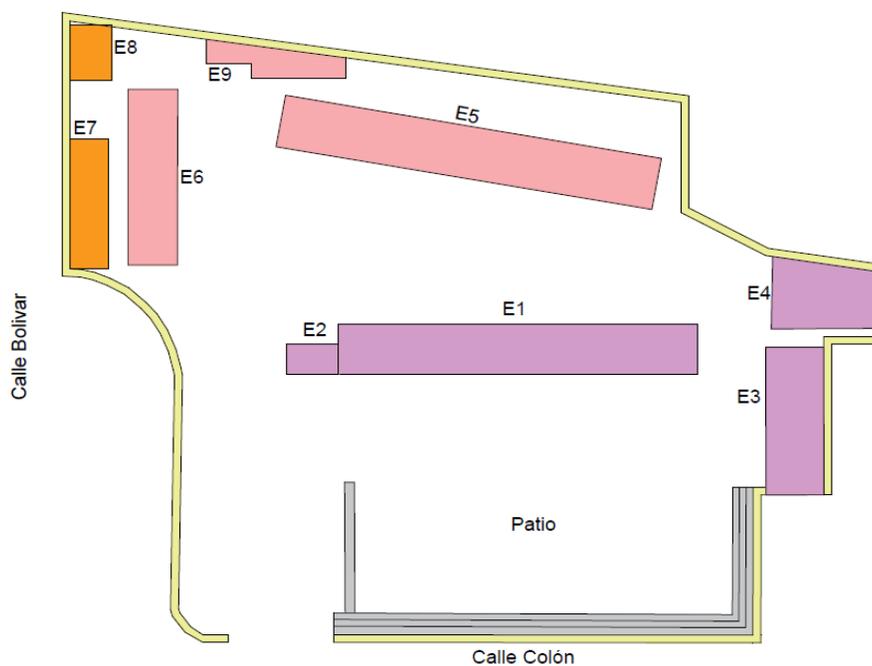


Tabla 90

Dependencia de la Unidad Educativa Particular "Santa Ana"

Código (# pisos)	Dependencias	Descripción
E1 (3)	(1) 1ro a 3ro de bachillerato, oficinas (2) Lab. Química, 2do bachillerato, 10mo EGB, audiovisuales (3) 6to a 9no EGB, 3ro Bach	

Código (# pisos)	Dependencias	Descripción
E2 (2)	(1) Colecturía (2) Rectorado	
E3 (3)	(1) Dpto. Médico y odontológico, Salas (2) 5to y 6to EGB, sala de computación (3) Aulas	
E4 (2)	(1) Baños (2) Cuarto del conserje	
E5 (1)	(1) Lab. De computación, 2do – 4to EGB.	
E6 (1) E7 (1)	(1) Preparatoria (1) Inicial II, sala de juegos Ambas estructuras comparten un marco de acero, por lo que se considera en una sola evaluación con irregularidad en elevación.	
E8 (1)	(1) Sala de música e inglés, Inicial I, baños	

Código (# pisos)	Dependencias	Descripción
E9 (1)	(1) Bodega	
E10 (1)	(1) Bar, comedor	

Capacidad de Respuesta (Cr)

Para la evaluación se considera el formulario “Capacidad de Respuesta” del Apéndice B, que contiene 25 preguntas relacionadas con la gestión de riesgo, para lo cual se utiliza el plan institucional para la reducción de riesgos del Ministerio de Educación. Mediante esta herramienta y a la visita en campo se evalúa el grado de Capacidad educativo.

Equipo de Planificación Colaborativa.

Dentro del Plan de gestión de riesgos de la unidad educativa el equipo de planificación se conforma por los siguientes actores:

Tabla 91

Equipo de planificación colaborativa

Cargo	Nombre	Correo
Rector	Msc. César Chávez	rectorado.santaana@gmail.com
Inspector general	Lic. Kléber Calispa	241nspección.santaana@gmail.com
Coordinador de Evacuación	Lic. Jorge Terán	jteran.santaana@gmail.com
Coordinador de Seguridad	Lic. Ramiro Toapanta	rtoapanta.santaana@gmail.com

Cargo	Nombre	Correo
Representante de padres de familia	Sr. Orlando Ganchala	oganchala@yahoo.com
Representante estudiantil	Sr. Luis Chiguano	luis.chiguano21@gmail.com

Cada uno de los miembros dentro del equipo central deben conocer sus roles y responsabilidades, el vocabulario y estructura establecida del comité, además las reuniones que mantienen cada mes posterior a la ejercitación del plan (simulacros).

Tabla 92

Evaluación del equipo de planificación

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
1	El equipo central de planificación está conformado por: GA: Todos los representantes la comunidad educativa (rector, personal administrativo y servicios, profesores, personal de salud, estudiantes, transportistas, representantes de minorías, personas con discapacidad, padres de familia, visitantes, comunidad aledaña entre otros) GB: Algunos representantes de la comunidad educativa sin considerar a los actores indirectos (transportistas, visitantes, comunidad aledaña, entre otros). GC: Algunos representantes de la comunidad educativa sin considerar personas con discapacidad o minorías. GD: Escasos o nulos representantes de la comunidad educativa.			✓	
2	El equipo central de planificación conformado conoce:				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
	GA: Conocen sus roles y responsabilidades, vocabulario, y la estructura establecida. GB: Desconocen sus roles y responsabilidades el vocabulario, y la estructura establecida. GC: En proceso de conformación del equipo central de planificación. GD: No está conformado el equipo central de planificación.	✓			
3	El equipo central de planificación conformado tienen un horario de reunión: GA: Al menos una vez por semana. GB: Unas dos veces al mes. GC: Menos de cinco veces al Quimestre. GD: Menos de ocho veces al año.			✓	

Entendimiento de la Situación.

El equipo de planificación identifica las amenazas, vulnerabilidades, riesgos internos y externos que la unidad educativa está expuesta, además los recursos con los que cuenta, y los principales problemas que mantiene.

Tabla 93

Identificación de riesgos de unidad educativa

Amenaza y riesgos	Si	No
Epidemias	✓	
Plagas		✓
Actividad volcánica	✓	

Amenaza y riesgos	Si	No
Deslizamiento		✓
Hundimiento	✓	
Sismo	✓	
Inundaciones	✓	
Déficit hídrico		✓
Tormenta eléctrica		✓
Vientos fuertes		✓
Explosión	✓	
Incendio estructural	✓	
Incendio forestal		✓
Intoxicaciones	✓	
Estaciones de combustible		✓
Depósitos de gas		✓

Los principales recursos que presenta son:

Tabla 94

Recursos disponibles en la Unidad Educativa Particular "Santa Ana"

Recursos	Disponible		Cantidad	Estado	
	Si	No		Bueno	Malo
Botiquín	✓		10	✓	
Extintor	✓		13	✓	
Camilla	✓		1	✓	
Megáfono	✓		1	✓	
Radio o baterías	✓		1	✓	
Plana eléctrica		✓			

Recursos	Disponible		Cantidad	Estado	
	Si	No		Bueno	Malo
Linternas	✓		5	✓	
Sala de enfermería	✓		1	✓	
Cartilla con número de emergencia	✓		1	✓	
Señalética	✓		53	✓	
Mapa de recursos	✓		1	✓	
Sistema de alerta	✓		2	✓	
Sitios seguros	✓		2		

En base al entendimiento de la situación y a los recursos disponibles se evalúa esta condición mediante el siguiente formulario.

Tabla 95

Evaluación del entendimiento de la situación

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
4	El equipo de planificación identifica amenazas: GA: Naturales, tecnológicas, biológicas, Adversas (Incitadas por el hombre). GB: No identifica una de los cuatro tipos de amenazas. GC: No identifica dos de los cuatro tipos de amenazas. GD: No identifica amenazas.	✓			
5	El equipo de planificación ha realizado evaluaciones de capacidad: GA: La comunidad educativa conoce los roles y responsabilidades en caso de emergencia. GB: La comunidad educativa (a excepción de actores indirectos) conoce los roles y responsabilidades en caso de emergencia. GC: La comunidad educativa tiene dudas sobre sus roles y responsabilidades en caso de emergencia. GD: No se ha realizado evaluaciones de capacidad.		✓		
6	El equipo de planificación identifica a sus socios comunitarios:				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
	GA: Identificados, actualizados y socializados. GB: Identificados, actualizados y sin socialización. GC: Identificados, y no actualizados. GD: No identificados.	✓			
7	El equipo de planificación identifica los recursos: GA: Inventariados, suficientes y localizados a disposición de la unidad educativa. GB: Inventariados, ubicados pero insuficientes. GC: En proceso de gestión. GD: Sin recursos.		✓		
8	El equipo de planificación conoce de los factores de riesgo externos: GA: A más de 500m. GB: Entre 250 y 500m. GC: Entre 0 y 250m. GD: No se conocen factores de riesgo externo.		✓		

Determinar Objetivos y Metas, Desarrollo de Cursos de Acción.

Los objetivos desarrollados están en base a la gestión de riesgo:

Tabla 96

Objetivos del plan de gestión de riesgos

Objetivo general	Objetivos específicos
Desarrollar competencias y capacidades en la comunidad educativa para la creación y fortalecimiento de una cultura de gestión de riesgos a través de la promoción del diseño y actualización permanente del plan de reducción de riesgos.	Disminuir las vulnerabilidades educativas, humanas y físicas en el establecimiento educativo. Identificar procedimientos a desarrollar en caso de que se presenten eventos adversos. Organizar las responsabilidades de los miembros de la comunidad educativa con respecto a las acciones a realizar en la preparación y respuesta.

Los cursos de acción son los planes que se desarrolla en función de los problemas identificados, además responde a las preguntas, quien lo hace, cuando lo va a hacer, y que se necesita o que se debe implementar para cumplir satisfactoriamente los cursos de acción.

Tabla 97

Cursos de acción

Problemas identificados	Acción	Quien lo hace	Cuando lo va a hacer	Cómo lo va a hacer	Que se necesita
Incendio en los laboratorios de Física y Química	Correcto manejo y uso de los equipos y sustancias en los laboratorios.	Lic. Alcoser Lic. Puente Lic. Díaz	En cada hora de clases	Ubicando y utilizando correctamente todos los equipos y sustancias químicas	Carteles de información y supervisión continúa en los laboratorios.
Incendio en los laboratorios de Computación	Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema eléctrico.	Tlga. Sanguano Lic. Díaz Lic. Calispa	Antes de iniciar cada quimestre	Revisión diaria de las conexiones eléctricas y novedades en las computadoras.	Materiales eléctricos.
Explosión de los tanques de gas de la cocina del bar.	Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de gas.	Sra. Hidalgo	Cada quimestre	Revisando las instalaciones de los tanques de gas. Ubicando el sistema de seguridad del gas.	Sistema de seguridad del gas.

Problemas identificados	Acción	Quien lo hace	Cuando lo va a hacer	Cómo lo va a hacer	Que se necesita
Explosión de los tanques de gas del laboratorio de Química	Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de gas.	Lic. Alcoser	Inicio del segundo quimestre.	Revisando las conexiones del tanque de gas a los mecheros. Ubicando el sistema de seguridad del gas.	Nuevos mecheros y mangueras.
Falta capacitación a los miembros de la comunidad educativa en el manejo de extintores y primeros auxilios	Capacitar a todos los miembros de la comunidad educativa en el manejo de extintores y primeros auxilios.	Autoridades. Cooperativa Santa Ana. Cuerpo de bomberos. Cruz roja.	Durante el mes de febrero del 2020.	Realizar un plan por parte de la Comisión de Gestión de riesgos. Gestionar la participación de entidades como: Cruz Roja y Cuerpo de bomberos	Cronograma. Financiamiento por parte de la Cooperativa Santa Ana.
Deterioro de láminas de los techos (eternit)	Cambio de láminas de los techos.	Cooperativa Santa Ana Comité padres de familia	En el mes de marzo del 2020	Adquirir los materiales necesarios por parte de la Cooperativa. Organizar mingas.	Láminas de eternit. Tirafondos.
Falta de kits de emergencia en los estudiantes.	Coordinar con el Departamento médico y tutores de grado y curso la adquisición de kits por parte de los estudiantes.	Departamento médico. Tutores de grado y curso. Padres de Familia	En el mes de enero del 2020.	Campañas para concienciar la importancia del kit de emergencia	Material referente al tema. Sala de audiovisuales. Recursos económicos (padres de familia)

Problemas identificados	Acción	Quien lo hace	Cuando lo va a hacer	Cómo lo va a hacer	Que se necesita
Poca visibilidad en las vías de evacuación y puntos de encuentro (interno)	Resaltar las vías de evacuación y puntos de encuentro dentro de la institución.	Comisión de Gestión de Riesgos de la institución	En el mes de febrero del 2020	A través del cronograma dispuesto por la comisión de Gestión de Riesgos.	Materiales de pintura y brochas.

Tabla 98

Evaluación de objetivos y metas, desarrollo de cursos de acción

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
9	El equipo de planificación determina objetivos y metas para amenazas: GA: Aborda al menos tres objetivos y metas para abordar cada amenaza o peligro en tres fases (antes, durante y después del peligro). GB: Se aborda objetivos y metas para dos de las tres fases. GC: Se aborda objetivos y metas para una de las tres fases. GD: No se ha implementado objetivos y metas.	✓			
10	El equipo de planificación delimita los cursos de acción: GA: Elaborado y actualizado (Representa un escenario de emergencia, determina el tiempo de respuesta, identifica puntos de acción, y elabora cursos de acción). GB: Elaborado, pero no actualizado. GC: En proceso de elaboración de pasos de acción. GD: No se ha implementado.	✓			

Revisión del Plan de Operación de Emergencias POE.

El Plan de Operación de Emergencias ha sido elaborado previo al inicio del año escolar, el cual ha sido resumido mediante el formato que la secretaría de gestión de riesgos del municipio, el mismo que es un requisito fundamental para permitir el funcionamiento de la unidad educativa. Las brigadas de respuesta también se encuentran designadas bajo los responsables antes expuestos.

Tabla 99*Evaluación y revisión del Plan de Operación de Emergencias POE*

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
11	El POE escolar se encuentra: GA: Elaborado y actualizado. GB: Elaborado y no actualizado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.	✓			
12	El POE escolar ha conformado un Sistema de Brigadas de respuesta de emergencias: GA: Conformadas y capacitadas. GB: Conformadas, pero no capacitadas. GC: En proceso de conformación. GD: No conformadas.	✓			

Implementación del Plan.

Los diferentes anexos especifican las acciones principales que se debe tomar en caso de una emergencia, por ejemplo la evacuación, la seguridad de la comunidad escolar en caso de sismo, entre otros. Del Plan de Gestión de Riesgos y de la visita en campo se comprueba que la señalización es deficiente, lo que reduce el grado de capacidad en la evaluación. Se han designado los puntos de encuentro internos y externos en caso de evacuación y por lo tanto se han identificado los factores de riesgo externos. Además se ha designado las alarmas principal y alterna y el encargado de activarlo en caso necesario.

Tabla 100*Alarmas dentro de U.E.P. "Santa Ana"*

Alarma	Descripción	¿Quién los activa?
Principal	Sirena o timbre	Lic. Kléber Calispa
Alterna	Campana	Msc. César Chávez

Tabla 101*Sitios seguros*

Sitio	Nombre	Tipo de evento	Grados que lo ocupan
Plataforma de uso múltiple	Unidad Educativa	Temblores	Toda la Unidad Educativa
Parque	Juan Salinas	Erupción volcánica	Toda la Unidad Educativa

Según la información obtenida se puede evaluar la implementación del plan, principalmente los aspectos afirmativos que contiene el plan.

Tabla 102*Evaluación implementación del plan*

Condición	GA	GB	GC	GD
13 El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de respuesta para un sismo: GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.	✓			
14 El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de evacuación: GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración GD: No está elaborado.	✓			
15 El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de atrapados por desplome de infraestructura:			✓	

Condición		GA	GB	GC	GD
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.				
16	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de puntos de reunión post evacuación en caso de sismo:	✓			
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.				
17	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de conteo de personas en caso de sismo:	✓			
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.				
18	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de entrega de estudiantes a sus representantes:		✓		
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.				
19	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de información para Protección de bienes escolares:			✓	
	GA: Elaborado e implementado GB: Elaborado y no implementado GC: En proceso de elaboración GD: No está elaborado				
20	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de comunicación interna y externa durante un sismo:		✓		
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración.				
	GD: No está elaborado.				
21	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo que designa a la unidad educativa como refugio en caso de emergencia:			✓	

Condición		GA	GB	GC	GD
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.				
22	El Plan de Operación de Emergencia contiene un Anexo de salud pública, medicina y salud mental tras un sismo:				
	GA: Elaborado e implementado. GB: Elaborado y no implementado. GC: En proceso de elaboración. GD: No está elaborado.		✓		
23	El Plan de Operación de Emergencia contiene la planificación de ejercicios de mesa, y simulacros :				
	GA: Se planifican, ejecutan y evalúan. GB: Se planifican, se ejecutan, pero no se evalúan. GC: Se planifica, pero no se ejecuta. GD: No se planifica.	✓			

Marco Educativo.

Es referente a la vulnerabilidad educativa, donde se puede calificar la capacidad de la institución de brindar un apoyo a la comunidad educativa mediante el fortalecimiento de destrezas y aptitudes de gestión del riesgo involucrando a todos sus actores.

Tabla 103

Evaluación del marco educativo

Condición		GA	GB	GC	GD
24	Desarrollo de destrezas relacionándolas con temas de gestión de riesgos por sismo en la institución:				
	G1: Los estudiantes han desarrollado destrezas relacionadas con temas de gestión de riesgo por sismo. G2: Los estudiantes han desarrollado parcialmente destrezas relacionándolas con temas de gestión de riesgos por sismos.		✓		

Condición		GA	GB	GC	GD
	G3: Los estudiantes han desarrollado escasas destrezas relacionándolas con temas gestión de riesgos por sismos. G4: Los estudiantes no han desarrollado destrezas relacionándolas con temas de gestión de riesgos por sismos.				
25	Incorporación de la gestión de riesgos a las actividades y eventos escolares: G1: La gestión de riesgo será incorporada y desarrollada como parte de las actividades y eventos escolares. G2: La gestión de riesgos está parcialmente incorporada y desarrollada como parte de las actividades y eventos escolares. G3: La gestión de riesgos está por incorporarse como parte de las actividades y eventos escolares. G4: La gestión de riesgos no está incorporada como parte de las actividades y eventos escolares.		✓		

Calculo del Grado de Capacidad de Respuesta Cr

Tabla 104

Cálculo del grado de capacidad de respuesta

CONTEO DE RESPUESTAS	12	8	5	0
	x80	x60	x40	x20
PUNTAJE SUMATORIA	960	480	200	0
	1640 / 25			
PUNTAJE FINAL (Promedio)	65,60			

Tabla 105

Observaciones de la evaluación en campo

<p>Observaciones: El Plan de operación de emergencias, no pudo ser revisado por completo. Sin embargo, dada algunas características observadas en campo, y en base al plan institucional para la reducción de riesgos, se logró evaluar el grado de Capacidad educativa. Se recomienda la incorporación de una mejor señalización para distinguir rutas de evacuación, puntos seguros, y peligros inminentes. Además, el valor obtenido indica una buena estrategia para enfrentar amenazas dentro de la Unidad educativa.</p>

Vulnerabilidad y Riesgo de Edificios

Para la evaluación del grado de vulnerabilidad, se ha utilizado los formularios de “**Vulnerabilidad física**” y “**Grado de Vulnerabilidad**” del **Apéndice B** y en algunos casos el formulario de Nivel 1 y Nivel 2 de FEMA P-154 del mismo documento, donde se evalúa las condiciones físicas de los edificios que conforman la unidad educativa. En la evaluación de campo, no se pudo conseguir toda la información necesaria para este tipo de evaluaciones. Sin embargo, gracias a la ayuda del Lic. Kléber Calispa, quien ha laborado por más de tres décadas dentro de la institución, ciertas dudas durante el desarrollo de la evaluación se han solventado oportunamente.

Por términos de seguridad para la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”, el presente proyecto únicamente brinda la descripción de uno de los edificios seleccionados al azar, el resto de edificios dentro de la unidad serán descritos en el **Apéndice D – Estudio de caso**. Finalmente, en el presente capítulo se darán los resultados globales de la institución.

Edificio E2.

El edificio E2, ha sido construido en el año 1994 aproximadamente, presenta dos plantas de hormigón armado, con una cubierta a dos aguas de hormigón y recubierta con láminas de eternit.

Tabla 106

Evidencia fotográfica de evaluación en campo edificio E2

Fotografía	Descripción
	<p>Figura (A) Estructura de hormigón armado con mampostería de ladrillo (URM). Ventanas tipo arco y tipo cuadro, construida más bajo al nivel de referencia del edificio E1</p>
	<p>Figura (A) El nivel de los aleros y la cumbrera se encuentran más alto que el nivel de la losa del edificio E1. No hay junta constructiva con el edificio E1. Figura (B): Ventanas tipo arco y rectangulares, pared de ladrillo visible en planta baja y alta.</p>
	<p>Pared en hastial se puede observar la mampostería de ladrillo que contiene la estructura, la columna intermedia llega hasta la cumbrera y las columnas perimetrales forman los aleros. Presencia de una fisura en la intersección de los faldones.</p>

Puntaje Base.

El edificio E2, fue construido en el año 1994 aproximadamente, presenta dos plantas de hormigón armado, con una cubierta a dos aguas de hormigón y recubierta con láminas de eternit.

Tabla 107

Puntaje base para edificio E2

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
1	Año de construcción				
	GA: Después del año 2015 (NEC 15)				
	GB: Entre el 2001 y 2014 (CEC 2000)			✓	
	GC: Entre 1977 y 2000 (CEC 77)				
	GD: Antes de 1977 (Sin Norma)				

Grupo de Vulnerabilidad Gv1.

El edificio E2 (2 plantas) es adyacente al edificio E1 (3 plantas), no presenta una junta separadora, lo que representa un riesgo potencial para la estructura de menor altura (E2) debido a los desplazamientos y periodos de vibración que serán diferentes lo que puede provocar choques entre las estructuras durante un movimiento telúrico. Además, la masa del piso del edificio E2 puede impactar directamente las columnas y paredes del edificio E1 ya que tienen alturas de entrepiso distintas.

Tabla 108*Evaluación y puntaje GV1 para edificio E2*

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
2	Número de pisos			✓	
	GA: Menor a 4 pisos (post código)				
	GB: Mayor a 4 pisos (post código)				
	GC: Menor a 3 pisos (Periodo de transición)				
	GD: Condiciones no contempladas (Precódigo - periodo de transición)				
3	Tipo de Edificio FEMA				✓
	GA: W1				
	GB: S1, S3				
	GC: S2, S4, S5, C2				
	GD: C1, C3, PC, RM, URM				
4	Condición de golpeteo				✓
	GA: No presenta edificios cercanos que puedan causar problema de golpeteo				
	GB: El edificio adyacente se encuentra a un espacio de separación mayor al mínimo [$\Delta(p) \times 5$ cm]				
	GC: El edificio adyacente se encuentra a un espacio de separación igual al mínimo [$\Delta(p) \times 5$ cm]				
	GD: Sin presencia de juntas entre edificaciones contiguas, en caso de presencia de suelos de diferente calidad.				
5	Condición de adyacencia			✓	
	GA: No presenta edificios cercanos que puedan causar problema de golpeteo				
	GB: El edificio se encuentra en una fila de más de tres edificios				
	GC: Nivel de pisos entre edificios es de más de 60 cm en vertical				
	GD: Existe un edificio adyacente con más de dos plantas				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD	
6	Tipo de perfil de Suelo			✓		
	GA: Tipo A y tipo B					
	GB: Tipo C					
	GC: Tipo D					
	GD: Tipo E y F* (* Requiere ingeniero especialista)					
Comentarios		CONTEO DE	0	0	3	2
<p>La construcción data del año 1994, por lo que es una estructura construida en el periodo de transición, es de hormigón armado y mamposterías de ladrillo.</p> <p>Posee un suelo tipo D (recomendado en caso de no contar con el estudio de suelos).</p> <p>El edificio E1 ejerce un potencial riesgo de golpeteo ya que no presenta una junta de construcción entre ellos, y también porque los niveles de pisos son diferentes.</p>		RESPUESTAS	x20	x40	x60	X80
		PUNTAJE	0	0	180	160
		SUMATORIA	340		÷	5
		PUNTAJE GV1	68			

Grupo de Vulnerabilidad Gv2.

Tabla 109

Evaluación y puntaje GV2 para edificio E2

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
7	Relación largo ancho	✓			
	GA: La edificación posee una relación largo ancho menor a 4				
	GB: La edificación posee una relación largo ancho menor a 4. Uno de sus longitudes es próxima a 30m				
	GC: La edificación posee una relación largo ancho mayor a 4				
	GD: a edificación posee una relación largo ancho mayor a 4, no se identifica juntas de separación. Una de las longitudes supera los 30m.				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
8	Irregularidades en planta.	✓			
	GA: La edificación es regular GB: La edificación presenta: Vigas no alineadas con las columnas o Abertura en diafragmas GC: La edificación presenta: esquinas reentrantes GD: La edificación presenta: Sistemas no paralelos o Torsión				
9	Irregularidades en elevación.	✓			
	GA: La edificación es regular GB: La edificación presenta: Desnivel de terreno moderada o Niveles divididos GC: La edificación presenta: Desnivel de terreno severo (pendiente mayor 14%) o Retroceso en el plano o Pared de sótano sin refuerzo GD: La edificación presenta: Columnas cortas o Piso blando/débil o Retroceso fuera del plano				
10	Ampliaciones verticales.	✓			
	GA: Estructura no presenta ampliaciones GB: Ampliación de una planta más pequeña que la principal. Una o más plantas con la misma configuración en planta e igual sistema de construcción GC: Una o más plantas con la misma configuración estructural que la principal, pero con diferente sistema constructivo GD: Una o más plantas con diferentes configuraciones que la principal, y diferente sistema constructivo				
11	Ampliaciones horizontales	✓			
	GA: Estructura no presenta ampliaciones GB: Ampliación con un mismo sistema constructivo e igual número de plantas				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
	GC: Edificio con igual sistema constructivo, pero con una diferencia de número de plantas. Ampliación con diferente sistema constructivo GD: Ampliación con diferente sistema constructivo y diferencia en el número de plantas.				
12	Patologías en vigas GA: Vigas sin presencia de patologías GB: Grietas por retracción de hormigón, afectaciones tipo I (metálica o madera) GC: Grietas en vigas por insuficiencia de armaduras positiva o negativa, afectaciones tipo II (metálica o madera) GD: Grietas en viga por corte, afectaciones tipo III (metálica o madera), vigas flejadas	✓			
13	Patologías en columnas GA: Columnas sin presencia de patologías GB: Fisuras, afectaciones tipo I (metálica o madera) GC: Grietas en columnas por represión en la fundación, afectaciones tipo II (metálica o madera) GD: Grietas en columnas por insuficiencia de estribos, afectaciones tipo III (metálica o madera), pandeo de columnas.	✓			
14	Patologías en losas GA: Losas sin presencia de patologías GB: Fisuras, afectaciones tipo I (metálica, acero, madera) GC: Grietas en losa por insuficiencia de armadura, Afectaciones tipo II (metálica, acero, madera) GD: Grietas en losas por sobrecarga excesiva, afectaciones tipo III (metálica, acero, madera), deformación de la losa		✓		
15	Patologías en paredes				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD	
	GA: Paredes sin presencia de patologías GB: Grietas en esquinas de ventanas y puertas, humedad localizada, afectaciones tipo I (laminas metálicas y de madera) GC: Fractura o grietas horizontales o verticales en fachadas, afectaciones tipo II (laminas metálicas y de madera), humedad generalizada, acción de hongos y mohos. GD: Fractura o grietas inclinadas en fachadas, afectaciones tipo III (laminas metálicas y de madera)	✓				
Comentarios		CONTEO DE	8	1	0	0
La edificación es regular en planta y elevación, no cuenta con ampliaciones ni verticales ni horizontales, existe fisuras presentes en la unión de los faldones de la cubierta de hormigón (sobre ella está la capa de eternit)		RESPUESTAS	x20	x40	x60	x80
		PUNTAJE	160	40	0	0
		SUMATORIA	200		÷	9
		PUNTAJE GV2	22.22			

Grupo de Vulnerabilidad Gv3.

Referente a los sistemas no estructurales internos, las lámparas luminarias están acopladas correctamente a la losa. Con respecto a los externos existe un riesgo medio que el parapeto que funciona como pasamanos en la escalera pueda caer durante un sismo, mientras no se compruebe su adecuado anclaje. Las puertas, el acceso inclusivo no cumple con los criterios básicos de la Ordenanza municipal, para asegurar la vida de los que mantienen actividades dentro de la unidad educativa. Las ventanas si cumplen los requerimientos básicos.

Tabla 110

Evaluación y puntaje GV3 para edificio E2

N°	Condición	GA	GB	GC	GD
16	Elementos no estructurales exteriores		✓		
	GA: No hay presencia de elementos no estructurales altos GB: Elementos con adecuada colocación, fijación, empotramiento con la estructura, etc. GC: Elementos con inadecuada colocación, fijación, empotramiento con la estructura, etc. GD: Elementos con riesgo de colapso o caída en caso de movimiento sísmico.				
17	Elementos no estructurales interiores		✓		
	GA: Los elementos no estructurales internos presentan una adecuada colocación e implementación GB: Los elementos no estructurales internos presentan una regular colocación e implementación GC: Los elementos no estructurales internos presentan una mala colocación e implementación GD: Los elementos no estructurales internos se encuentran con un alto riesgo de caída ante un movimiento sísmico				
18	Estado de conservación de la edificación		✓		
	GA: Muy bueno GB: Bueno GC: Regular GD: Deficiente				
19	Estado de conservación de cubiertas	✓			
	GA: Muy bueno GB: Bueno GC: Regular GD: Deficiente				
20	Puertas de salida, o de emergencia				✓
	GA: 75 – 100% de las puertas cumplen con los requisitos básicos GB: 50 – 74% de las puertas cumplen con los requisitos básicos GC: 25 – 49% de las puertas cumplen con los requisitos básicos GD: 0 – 24% de las puertas cumplen con los requisitos básicos				

N°	Condición	GA	GB	GC	GD	
21	Ventanas GA: 75 – 100% de las ventanas tienen vidrios templados. GB: 50 – 74% de las ventanas tienen vidrios templados. GC: 25 – 49% de las ventanas tienen vidrios templados. GD: 0 – 24% de las ventanas tienen vidrios templados. Mayoría de vidrios con otro material	✓				
22	Accesibilidad inclusiva GA: Se identifica satisfactoriamente las normas básicas para accesibilidad inclusiva GB: Deficiente implementación de normas básicas para accesibilidad inclusiva GC: En proceso de implementación de normas básicas para accesibilidad inclusiva GD: No se ha implementado ninguna norma básica para accesibilidad inclusiva				✓	
Comentarios		CONTEO DE RESPUESTAS	2 x20	3 x40	0 x60	2 x80
El edificio presenta todos los servicios básicos, las puertas no cumplen con los requisitos básicos ya que su abatimiento es al interior. Todas las ventanas son de vidrio templado. No hay una adecuada implementación de normativas para inclusión de personas con movilidad limitada. Los elementos no estructurales internos como archiveros no poseen una adecuada fijación, aunque no son muy altos. El pasamanos de la grada y posterior antepecho tiene un anclaje con la estructura desconocido por lo que también genera un cierto riesgo de caída. Su estado de conservación es bueno, posee una cubierta a dos aguas de eternit con un estado muy bueno de conservación.		PUNTAJE	40	120	0	160
		SUMATORIA	320		÷	7
		PUNTAJE GV3	45.71			

Calculo del Grado de Vulnerabilidad (V).

Para calcular el grado de vulnerabilidad se toman los valores de puntaje base y los grupos de vulnerabilidad GV.

Tabla 111

Puntaje de vulnerabilidad para edificio E2

VULNERABILIDAD:		Puntaje Base =		45	
I	Puntaje Base		GV1	I	
	12.5	22.5	68.00	0.225	15.30
GV1	0.2250	0.225	0.1875	22.22	2.50
GV2	0.1125	0.113	0.0938	45.71	1.71
GV3	0.0375	0.038	0.0313		
V	=	PuntajeBase + GV		GV	= 19.51
V	=	64,51			
60 < V ≤ 80		Alto	Realizar análisis estructural detallado		
40 < V ≤ 60		Medio	Evaluar mediante FEMA P-154		x
20 < V ≤ 40		Bajo	Considerar recomendaciones de esta guía		

Tabla 112

Elemento de terreno E para edificio E2

Factor de incidencia por uso				
Uso	Población de la edificación			
	de 1 a 10	de 10 a 50	de 50 a 100	más de 100
Enfermería	5	5	5	5
Aulas	3	4	5	6
Laboratorios	3	4	5	6
Oficinas	3	4	5	N/A
Comedor	2	4	5	N/A
Baños	2	3	N/A	N/A
Bodega	1	N/A	N/A	N/A
Coliseo	N/A	4	5	6
E	=	3		

Tabla 113

Complemento de Vulnerabilidad de edificio E2

RIESGOS POTENCIALES	RIESGOS NO ESTRUCTURALES OBSERVABLES			
	Condición	Si	No	Comentarios
¿Existen peligros que ameriten una evaluación estructural detallada? ✓ Golpeteo potencial ✓ Riesgo de caída de edificios altos <input type="checkbox"/> Riesgo geológico <input type="checkbox"/> Deterioro en sistema estructural <input type="checkbox"/> Irregularidad en planta grave <input type="checkbox"/> Irregularidad en elevación grave	Hay un parapeto no reforzado de mampostería no anclado.	x		Pasamanos de mampostería
	Presencia de revestimiento pesados en paredes		x	
	Presencia de edificio adyacente alto con una pared URM		x	
	Elementos que pueden caer internos o externos (enliste):	x		Archiveros dentro de oficinas

Curva de Fragilidad y Matriz de Probabilidad de Daño.

Figura 47

Curvas de fragilidad para edificio E2

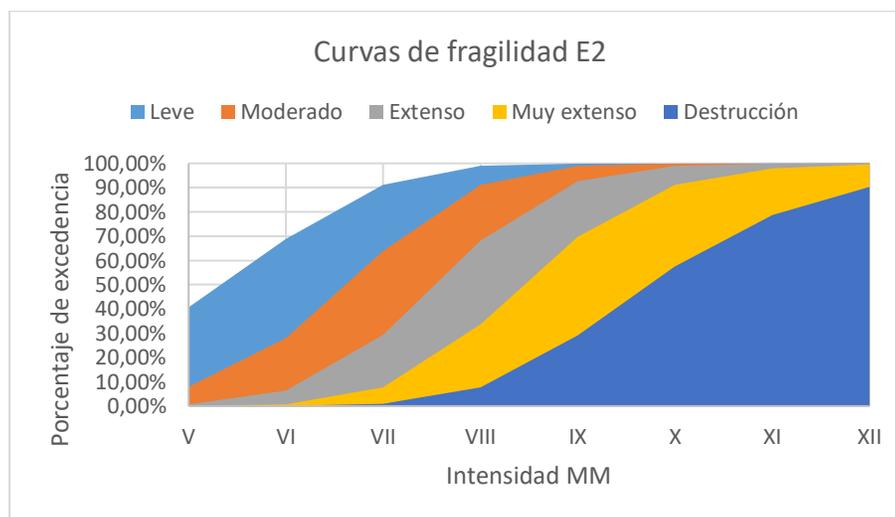


Tabla 114

Matriz de probabilidad de daño edificio E2 Tipo C3

Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Destrucción
V	59,28%	32,68%	7,21%	0,794%	0,044%	0,001%
VI	31,11%	40,92%	21,53%	5,663%	0,745%	0,039%
VII	8,75%	27,47%	34,48%	21,64%	6,792%	0,853%
VIII	1,03%	7,71%	23,08%	34,56%	25,87%	7,749%
IX	0,05%	0,89%	6,38%	22,81%	40,75%	29,11%
X	0,00%	0,05%	0,93%	7,90%	33,69%	57,43%
XI	0,00%	0,00%	0,09%	1,90%	19,34%	78,66%
XII	0,00%	0,00%	0,01%	0,38%	9,31%	90,30%

Evaluación de Riesgo de Colapso Mediante FEMA P-154.

Para ejemplificar el uso de los formularios propuestos se compara la matriz de probabilidad de daño con lo obtenido en FEMA P-154, que indica una probabilidad de colapso del 50%, que para términos de los formularios sería la suma de los porcentajes de daños extenso, muy extenso y destrucción; para intensidad de VIII MM resulta 68.179%, que significa la probabilidad de que los elementos estructurales sufran un daño extenso o mayor, muy similar al propuesto por FEMA en los siguientes formularios desarrollados.

¿Se evaluó con FEMA P-154? No Si, Resultado: Riesgo de colapso = 50%

Al realizarse la evaluación mediante FEMA P-154, se obtiene el porcentaje de riesgo de colapso, que es un valor más estricto que el proporcionado en las matrices de probabilidad de daño, debido a que estas matrices indican valores exclusivos de la estructura, en cambio el formulario FEMA presenta valores que incluyen la interrelación de los edificios adyacentes.

Recomendaciones Específicas para Edificio E2.

- Realizar el análisis estructural completo de esta edificación para obtener los desplazamientos de piso y poder determinar la interacción con la estructura E1 e implementar un adecuado sistema de amortiguamiento.
- Revisar la adherencia entre la losa y el material de la cubierta.
- Fijar de manera adecuadas estanterías y archivadores para evitar su caída durante un sismo.

Resultados y Recomendaciones

Resultados de Evaluación

Se ha evaluado el grado de vulnerabilidad de las 9 estructuras dentro de la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”, mediante los formularios del **Apéndice B**, los resultados obtenidos se muestran a continuación, además se puede obtener el grado de vulnerabilidad total.

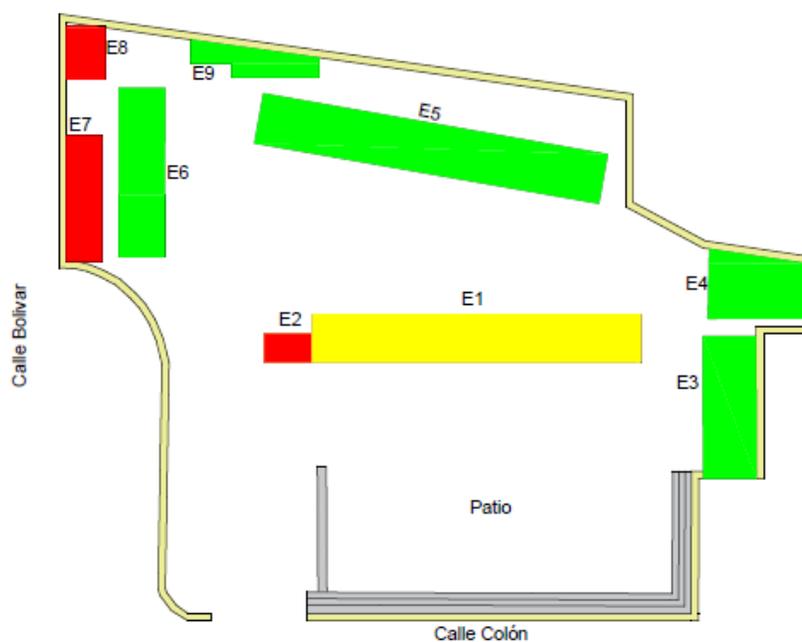
Tabla 115

Resumen de evaluación de edificio y vulnerabilidad total de la unidad educativa

Edif.	Uso	V	Elemento de terreno		V Total
E1	Aulas, oficinas, laboratorios	40,50	6	6,57	43,18
E2	Oficinas	64,51	3	5,23	
E3	Aulas, oficinas, laboratorios	39,70	6	6,44	
E4	Baños, cuarto del conserje	36,25	3	2,94	
E5	Aulas, laboratorios	36,69	5	4,96	
E6	Aulas	36,79	5	4,97	
E7	Aulas	60,66	4	6,56	
E8	Bodega	65,52	1	1,77	
E9	cocina y comedor	34,64	4	3,74	

Figura 48

Ubicación de edificios vulnerables en la Unidad Educativa Particular "Santa Ana"



Nota: Esta figura indica posterior a la evaluación los edificios localizados como vulnerables siendo Verde: Baja Vulnerabilidad, Amarillo: Media, Rojo: Alta vulnerabilidad.

De la evaluación de Capacidad de Respuesta, se obtiene el coeficiente de capacidad que en este caso reducirá el riesgo global.

$$CR = 65.60 \Rightarrow C = \frac{(65.60 + 100) \cdot (170 - 43.18)}{13\,500} = 1.57$$

Finalmente, el riesgo global se obtiene con las variables encontradas.

$$R_g = \frac{43.18 \times 1.00}{1.57} = 27.75$$

- El valor de riesgo global permite acreditar a la Unidad Educativa Particular “Santa Ana”, como Categoría “B”. Ya que existe entre el 6% y 22% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que se debe implementar medidas preventivas que puedan reducir de forma apreciable los potenciales riesgos. Considerando principalmente, las vulnerabilidades físicas de los edificios E2, E7 y E8, que ameritan un control inmediato ya que si no lo hacen no podrán subir a categoría “A”.
- En general, las estructuras dentro de la institución presentan una baja vulnerabilidad, esto debido a que se evidencia que ha habido un análisis e intervención de un ingeniero estructural. Por lo tanto, su valor de vulnerabilidad total - global queda en rango medio.
- El edificio E2, E7 y E8 requieren de un análisis estructural debido a que presentan una vulnerabilidad alta, que evaluada con FEMA poseen un 50% de probabilidad de colapso, entre otras cosas, dichos edificios se encuentran junto a otro de mayor altura sin junta sísmica apropiada, lo que se traduce en un riesgo potencial de caída de mampostería.
- El edificio E1, presenta una vulnerabilidad media, debido a que se encuentra adyacente al edificio E2. Sin embargo, no requiere de una evaluación detallada ya que es una estructura más fuerte y alta que la E2.
- La Unidad Educativa Particular “Santa Ana” cuenta con una capacidad de respuesta alta ya que tiene una buena implementación de la gestión de riesgo lo que se traduce en un menor riesgo global de la institución.

Recomendaciones de los Resultados

- Mejorar las capacidades mediante medidas de prevención, mitigación y preparar a toda la comunidad educativa incluyendo a los actores directos e indirectos.
- Reforzar a las estructuras, que obtuvieron una vulnerabilidad media o alta, de acuerdo con un análisis estructural completo para cada una.
- Las puertas abatibles deben ser cambiadas por puertas corredizas para evitar que se obstaculicen por el empuje de los ocupantes y permitir la salida de las personas en caso de emergencia.
- Implementar las normas básicas para accesibilidad universal, por ejemplo la colocación de pasamanos en las escaleras, asegurarse de que no existan objetos sobresalientes de las paredes por más de 15cm.

Análisis de Resultados

En base a los resultados obtenidos se realiza una clasificación de las estructuras evaluadas en función del año y tipo de construcción, esto permite obtener funciones de vulnerabilidad las cuales brindan una idea preliminar de la vulnerabilidad esperada. Sin embargo, estos datos requieren una muestra mucho más grande para finalmente obtener funciones de vulnerabilidad definitivas (solo de la unidad educativa).

De las 9 estructuras encontradas se clasifico según su año de construcción en donde 3 edificaciones se construyó con el código CEC 77 y no han tenido una rehabilitación en años modernos. Por otro lado el resto de estructuras han sido construidas mediante el código CEC

2000, o ha sido rehabilitado con este código. Actualmente no se ha encontrado estructuras construidas antes del año 1977 o después del año 2015 (mediante NEC 15).

Figura 49

Porcentaje de edificios por año de construcción (norma constructiva)



Figura 50

Vulnerabilidad media por año de construcción (Norma)

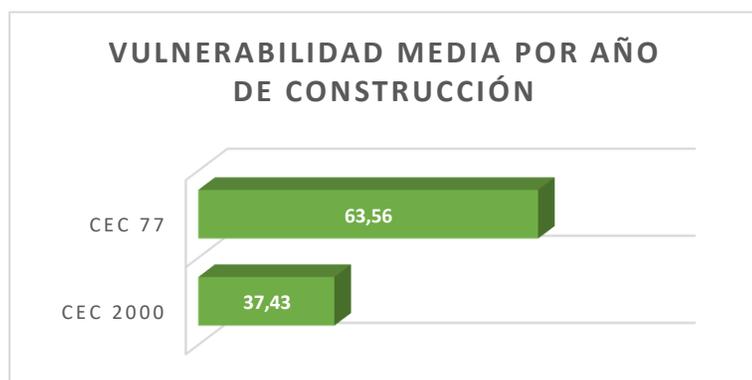
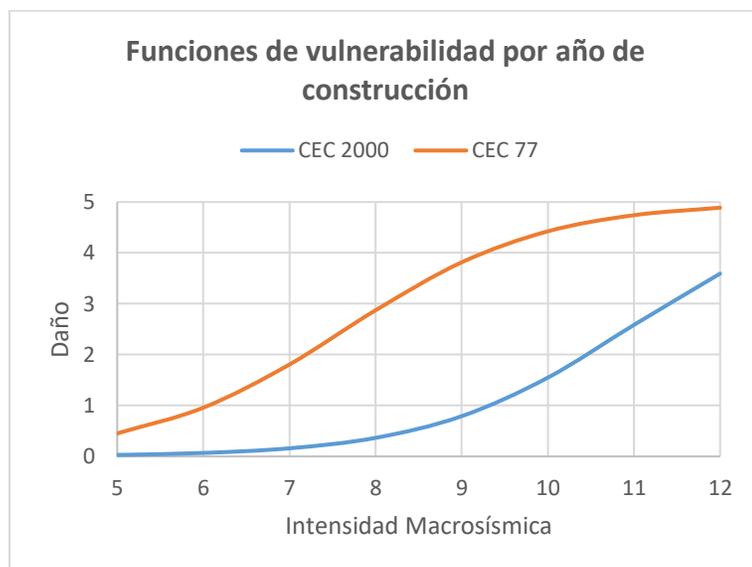


Figura 51

Función de vulnerabilidad por año de construcción (Norma)

**Tabla 116**

Matriz de probabilidad de daño para estructuras construidas con CEC 2000

Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Destrucción
V	97,15%	2,82%	0,03%	0,000%	0,000%	0,000%
VI	93,35%	6,46%	0,18%	0,002%	0,000%	0,000%
VII	85,00%	14,04%	0,93%	0,03%	0,001%	0,000%
VIII	68,43%	26,97%	4,25%	0,34%	0,01%	0,000%
IX	42,25%	39,73%	14,94%	2,81%	0,26%	0,01%
X	15,67%	35,16%	31,55%	14,16%	3,18%	0,29%
XI	2,63%	14,06%	30,11%	32,24%	17,26%	3,70%
XII	0,18%	2,25%	11,50%	29,38%	37,52%	19,17%

Tabla 117

Matriz de probabilidad de daño para estructuras construidas con CEC 77

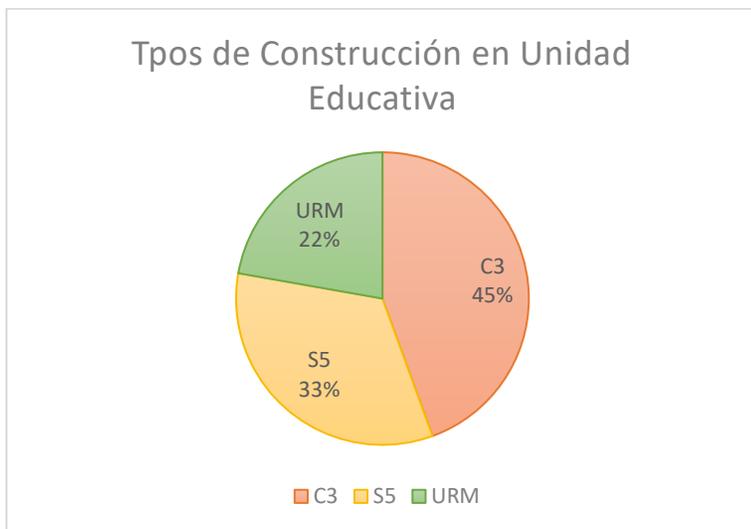
Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Destrucción
V	62,25%	30,95%	6,16%	0,612%	0,030%	0,001%
VI	34,49%	40,92%	19,41%	4,606%	0,546%	0,026%
VII	10,62%	30,05%	34,02%	19,25%	5,449%	0,617%
VIII	1,39%	9,41%	25,42%	34,33%	23,18%	6,261%
IX	0,07%	1,20%	7,74%	24,93%	40,17%	25,89%
X	0,00%	0,08%	1,19%	9,18%	35,29%	54,26%
XI	0,00%	0,00%	0,12%	2,28%	20,91%	76,69%
XII	0,00%	0,00%	0,01%	0,47%	10,21%	89,32%

- Las estructuras construidas con el CEC 77 presentan un grado de vulnerabilidad alto, en contraste con las construidas con el CEC 2000 que presentan un grado de vulnerabilidad bajo. Por lo tanto las probabilidades de daño para estructuras construidas con el CEC 77 serán más altas en los estados extenso, muy extenso, y destrucción, comparado con los construidos con CEC 2000.

Por otro lado se ha clasificado a los edificios según su tipo de construcción, de las cuales 4 son de hormigón armado con mampostería no reforzada (C3), 3 de con estructura metálica y mampostería no reforzada (S5), y finalmente 2 construcciones donde predomina la mampostería no reforzada que ha sido clasificada como tal (URM).

Figura 52

Porcentaje de edificios por su tipo de construcción

**Figura 53**

Vulnerabilidad media por tipo de construcción (Material)

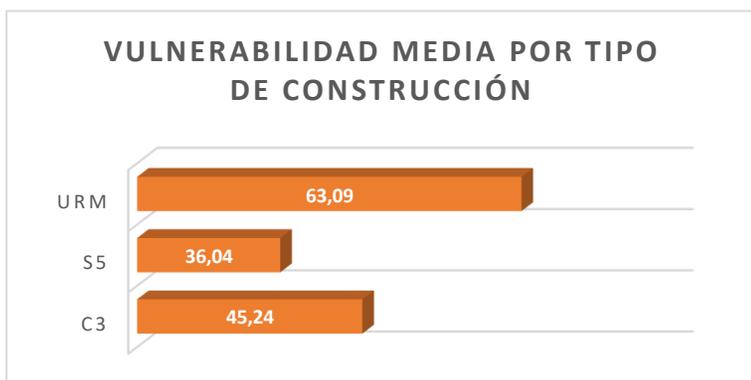
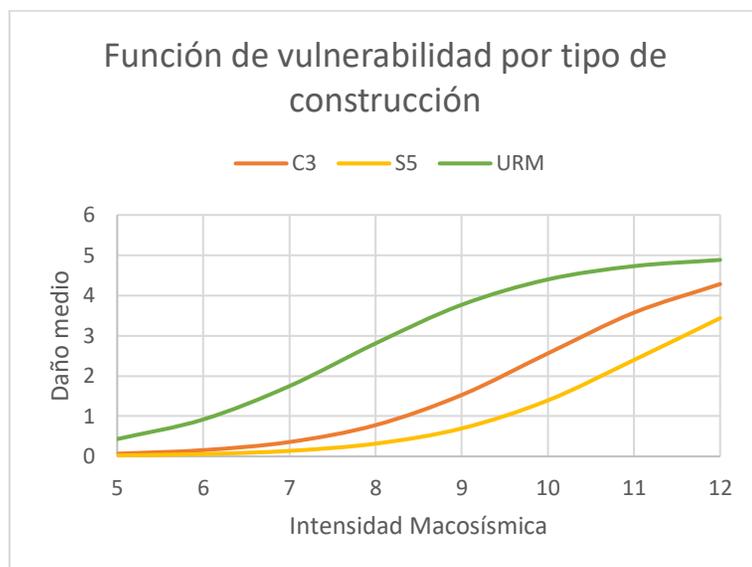


Figura 54

Funciones de vulnerabilidad por tipo de construcción (Material)

**Tabla 118**

Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo C3

Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Destrucción
V	93,48%	6,34%	0,17%	0,002%	0,000%	0,000%
VI	85,27%	13,80%	0,89%	0,029%	0,000%	0,000%
VII	68,93%	26,62%	4,11%	0,32%	0,012%	0,000%
VIII	42,92%	39,55%	14,58%	2,69%	0,25%	0,009%
IX	16,17%	35,54%	31,26%	13,74%	3,02%	0,27%
X	2,77%	14,52%	30,47%	31,96%	16,77%	3,52%
XI	0,19%	2,37%	11,88%	29,73%	37,21%	18,63%
XII	0,01%	0,18%	2,17%	12,93%	38,61%	46,11%

Tabla 119*Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo S5*

Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Completo
V	97,54%	2,43%	0,02%	0,000%	0,000%	0,000%
VI	94,25%	5,61%	0,13%	0,002%	0,000%	0,000%
VII	86,93%	12,35%	0,70%	0,02%	0,000%	0,000%
VIII	72,04%	24,41%	3,31%	0,22%	0,01%	0,000%
IX	47,26%	38,21%	12,36%	2,00%	0,16%	0,01%
X	19,56%	37,74%	29,12%	11,24%	2,17%	0,17%
XI	3,83%	17,62%	32,43%	29,85%	13,74%	2,53%
XII	0,30%	3,29%	14,46%	31,76%	34,87%	15,32%

Tabla 120*Matriz de probabilidad de daño para estructura tipo URM*

Intensidad	Sin Daño	Leve	Moderado	Extenso	Muy Extenso	Completo
V	63,69%	30,07%	5,68%	0,536%	0,025%	0,000%
VI	36,21%	40,79%	18,38%	4,141%	0,466%	0,021%
VII	11,64%	31,28%	33,63%	18,08%	4,859%	0,522%
VIII	1,61%	10,35%	26,55%	34,05%	21,84%	5,601%
IX	0,09%	1,39%	8,49%	25,97%	39,74%	24,32%
X	0,00%	0,09%	1,35%	9,87%	36,05%	52,63%
XI	0,00%	0,00%	0,14%	2,49%	21,71%	75,65%
XII	0,00%	0,00%	0,01%	0,51%	10,68%	88,79%

- Los edificios de mampostería no reforzada (URM) presentan un grado de vulnerabilidad alto, los de hormigón armado y paredes no reforzadas (C3) una vulnerabilidad media, y

los que poseen estructuras metálicas y paredes no reforzadas (S5) una vulnerabilidad baja, esto debido a que los materiales de construcción juegan un papel muy importante en términos de desempeño estructural. Los edificios tipo URM deben tener prioridad al momento de implementarse las medidas de mitigación, ya que la probabilidad de sufrir daños extensos es mayor al de las otras dos tipologías.

Resumen del Capítulo

Se realizó la aplicación de la guía elaborada en el presente proyecto para conocer su eficacia mediante el estudio de caso de la Unidad Educativa Particular Santa Ana. Se tomó como edificio representativo a la edificación E2 y la evaluación completa se encuentra en el **Apéndice**

D.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La capacidad de respuesta es un factor que depende de la vulnerabilidad física propia de la edificación para reducir el riesgo global, ya que por más alta que sea la capacidad, si el grupo de edificios evaluados es muy vulnerable a los efectos sísmicos, estos colapsarán y no permitirán la aplicación de los planes de operación de emergencias.
- Los sistemas constructivos y el año de construcción son factores determinantes a la hora de evaluar la vulnerabilidad de edificaciones, ya que de ellos depende el adecuado comportamiento de la estructura cuando se suscita un evento sísmico.
- Mediante el estudio de caso, se ha identificado la importancia de implementar la guía de evaluación de vulnerabilidad, ya que aunque es una evaluación preliminar, permite conocer el estado actual de la estructura y las probabilidades de daño que podría provocar un movimiento sísmico con características definidas, además determina el valor de riesgo global lo que permite categorizar una unidad educativa en base a la seguridad que otorga.
- La Unidad Educativa Santa Ana presenta nueve edificaciones, de las cuatro que obtuvieron los mayores vulnerabilidades, tres de ellas presentan una característica en común que es la adyacencia entre edificios sin una junta adecuada, lo que provoca un potencial riesgo de golpeteo que a su vez provocaría un daño considerable en los elementos estructurales de ambas edificaciones.

Recomendaciones

- Para una evaluación de vulnerabilidad más completa, también se debe considerar otro tipo de amenazas naturales (inundaciones, tsunamis, erupciones volcánicas, vientos fuertes), que permitan identificar las deficiencias físicas ante la ocurrencia de estos fenómenos dentro de la zona de estudio.
- Incentivar el uso de mecanismos de evaluación preliminar, como el presentado en esta guía, a las unidades educativas de la zona para dar prioridad a las más vulnerables y considerarlas en la toma de decisiones de las autoridades municipales.

Referencias

- Aguiar, R., Rivas, A., Benito, M., Gaspar, J., Trujillo, S., Arciniegas, S., Villalba, P., & Parra, H. (2014). Aceleraciones registradas y calculadas del sismo del 12 de agosto de 2014 en Quito. *Revista Ciencia*. 16(2), 139-153.
http://oa.upm.es/38899/1/INVE_MEM_2014_214854.pdf.
- Albarracin Meza, A. S. (2019). *Aplicación de metodologías simplificadas pre-evento sísmico, para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18528>
- Alexander, D., & Lewis, L. (2014). *Condition of America's Public School Facilities: 2012-13. First Look*. NCE 2014-022. U.S. Department of Education.
<https://nces.ed.gov/pubs2014/2014022.pdf>
- Almagro Oña, P. A., & Paredes Jaramillo, E. X. (2016). *Evaluación técnico-visual de estructuras según NEC-SE-RE en el sector "La Armenia 1" para la determinación de riesgo ante fenómenos naturales específicos*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12655>
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J.-M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., & Rolandone, F. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*. 33(2), 67-83.
<https://doi.org/10.1002/2012TC003224>.

- Allier Montaña, E. (2018). Memorias imbricadas: terremotos en México, 1985 y 2017. *Revista mexicana de sociología*. 80(SPE), 9-40.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v80nspe/0188-2503-rms-80-spe-9.pdf>.
- Arquitectura+acero. (2020). Corrosión. <https://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/corrosion>
- ASCE 7-16. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers. <https://www.asce.org/asce-7/>
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers. <https://www.asce.org/asce-7/>
- Balassanian, S. Y., Arakelian, A. R., Nazaretian, S. N., Avanesian, A. S., Martirosian, A. H., Igoumnov, V., Melkoumian, M., Manoukian, A., & Tovmassian, A. (1995). Retrospective analysis of the Spitak earthquake. *Annali de Geofisica*. 38(3-4), 345-372.
<http://hdl.handle.net/2122/1799>.
- Barona Zaldumbide, D. M. (2010). *Vulnerabilidad sísmica del centro histórico de Sangolquí*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2049/1/T-ESPE-029748.pdf>
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W. H., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J.-C. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*. 181(3), 1613-1633. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04569.x>.
- Carranza Quinatoa, R. D., & Yacelga Perugachi, E. A. (2016). *Análisis comparativo de la zona de confinamiento para la conformación de la rótula plástica en vigas de hormigón armado*.

[Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6600>

Castillo, M., Camargo Abello, M., & Morales, R. (2011). *Decisiones acertadas de educación en emergencias: Módulo 1: Dirigido a secretarios de educación, gobernadores, alcaldes y rectores*. Ministerio de Educación Nacional de Colombia.

https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-347129_archivo_pdf.pdf

Coburn, A. W., Spence, R. J., & Pomonis, A. (1992). Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse. *Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering*. 10, 5989-5994.

http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/10_vol10_5989.pdf.

CONADIS. (2018). *Accesibilidad al Medio Físico y Normativa Técnica Ecuatoriana*.

https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/normas_inen_acceso_medio_fisico.pdf

Consejo Metropolitano de Quito. (2003). *Ordenanza 3457*.

http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%20C3%91OS%20ANTERIORES/ORD-3457%20-%20NORMAS%20DE%20ARQUITECTURA%20Y%20URBANISMO.pdf

Constantinou, M., Aguiar, R., Morales, E., & Caiza, P. (2018). Desempeño de aislador FPT8833/12-12/8-5 en el análisis sísmico del Centro de Investigaciones y de Post Grado de la UFA-ESPE. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*. 21(1), 1-25.

<http://dx.doi.org/10.24133/riie.v21i1.573>.

- Correa Zuñiga, C. B. (2016). *Análisis Comparativo De Las Metodologías Para La Evaluación De Daños Estructurales En Edificaciones Luego De Un Evento Sísmico*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15572>
- CUPAPIZARRAS. (2019). 10 tipos de cubiertas.
<https://www.cupapizarras.com/es/actualidad/tipos-de-cubiertas/>
- Chicaiza Bósquez, A. E. (2016). *Espectros de control para el Valle de los Chillos*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16821>
- DIPECHO, & Consorcio PNUD-CRIC-Plan Internacional Ecuador. (2012). *Guía para análisis de amenazas, Vulnerabilidades y Capacidades "AVC" con la participación de niñas, niños y adolescentes para el contexto urbano. Mis primeros pasos en la gestión de riesgos*. FLACSO Andes. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/129198-opac>
- Dolce, M., Kappos, A., Zuccaro, G., & Coburn, A. (1994). Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis. *Proceedings of the 10th European conference on earthquake engineering*. 4, 3049-3077.
<https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN010500096/Report-of-the-EAEE-Working-Group-3-Vulnerability/>.
- Egred, J. (2004). Patrones sísmicos y el terremoto de Bahía en la zona de subducción ecuatoriana. *Investigaciones en geociencias: publicación del Instituto Geofísico/Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional*. 1, 87.
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/des-15671>.

- Egüez, A., Alvarado, A., & Yepes, H. (2003). *Mapa de fallas y pliegues cuaternarias de Ecuador y regiones oceánicas adyacentes*. US Geological Survey–Escuela Politécnica Nacional, Programa Internacional de la Litosfera, Grupo de Trabajo II-2. OFR.
<https://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-289/OFR-03-289-map.pdf>
- El periódico. (2019). Deslizamiento daña aulas de una escuela de San Marcos.
<https://elperiodico.com.gt/nacion/2019/09/26/deslizamiento-dana-aulas-de-una-escuela-de-san-marcos/>
- Erazo Villacis, Á. C., & Salgado Saltos, R. E. (2016). *Aplicación de evaluación técnico visual en estructuras de vivienda ante fenómenos naturales en el sector de San Rafael, las intersecciones de la Autopista General Rumiñahui, la Av. San Luis y el Boulevard del Centro Comercial San Luis Shopping*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12610>
- FEMA P-154. (2015). *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook*. Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/media-library-data/1426210695633-d9a280e72b32872161efab26a602283b/FEMAP-154_508.pdf
- FEMA P-155. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation*. Federal Emergency Management Agency.
https://www.fema.gov/media-library-data/1426210695613-d9a280e72b32872161efab26a602283b/FEMAP-155_508.pdf

- FEMA P-1000. (2017). *A Guide to Improving School Natural Hazard Safety*. Federal Emergency Management Agency.
https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product_id=307
- Fiallos Rúales, A. E. (2016). *Proyecto arquitectónico de turismo espiritual residencial y de estancia*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9464>
- García Román, E. F., & Padrón Bustos, P. A. (2016). *Aplicación de evaluación técnico visual en estructuras de vivienda ante fenómenos naturales en el sector Club los Chillos, calle Anturios hasta intersección de la calle de la Rosa*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12470>
- Ghobarah, A. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: state of development. *Engineering structures*. 23(8), 878-884. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(01\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(01)00036-0).
- Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. M., & Zhang, P. (1999). The GSHAP global seismic hazard map. *Annals of Geophysics*. 71(6), 679-686. <https://doi.org/10.4401/ag-3784>.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Rumiñahui 2025 Actualización 2014-2019*. Municipio de Rumiñahui.
<http://181.112.151.212/Documentacion/Cant%C3%B3nRumi%C3%B1ahui/pdyot-2014-2019.pdf>

- Grünthal, G. (1998). *European macroseismic scale 1998*. European Seismological Commission (ESC). <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-risk-dynamics/data-products-services/ems-98-european-macroseismic-scale/>
- GrupoKioskoOnline. (2018). ¿Cómo reparar una estructura de madera antigua? https://www.casasdemaderahoy.com/casas_de_madera/mantenimiento_casa_madera/reparar-una-estructura-madera-antigua.html/
- Gualoto Guacollante, J. D., & Querembas Chanatasi, O. D. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica del barrio Solanda sector 1 en el Distrito Metropolitano de Quito mediante ensayo con acelerómetro y formato de evaluación estructural*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15853>
- Iñiguez, J., & Montoya, D. (2007). *Estudio de impacto ambiental del relleno sanitario para disposición final de residuos sólidos urbanos del cantón Rumiñahui, en el sitio el carmelo*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2347>
- Jelpe, P., & Padilla, L. (2009). *Patología en elementos estructurales. Madera, acero y muro portante cerámico*. [Tesis de pregrado, Universidad de la República Uruguay]. Repositorio Institucional. <http://www.fadu.edu.uy/tesinas/tesinas/patologia-en-elementos-estructurales-madera-acero-y-muro-portante-ceramico/>
- La izquierda Diario. (2017). Represión y miedo en las escuelas a un mes del sismo. http://www.laizquierdadiario.cl/Represion-y-miedo-en-las-escuelas-a-un-mes-del-sismo?id_rubrique=1201

- La jornada. (2020). Forman brigada de protección escolar en primaria de la colonia Roma.
<https://www.jornada.com.mx/2020/02/21/capital/028n1cap>
- La Republica. (2016). Correa dice que subió a 668 la cifra de muertos por terremoto en Ecuador.
<https://www.larepublica.ec/blog/sociedad/2016/06/10/correa-dice-que-subio-a-668-la-cifra-de-muertos-por-terremoto-en-ecuador/>
- Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 4(4), 415-443. <https://doi.org/10.1007/s10518-006-9024-z>.
- Lanning, F., Haro, A. G., Liu, M. K., Monzón, A., Monzón-Despang, H., Schultz, A., Tola, A., Diaz-Fanas, G., Antonaki, N., & Nikolaou, S. (2016). *EERI Earthquake Reconnaissance Team Report: M7. 8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016*. (9781932884692). Researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/309619346_EERI_Earthquake_Reconnaissance_Team_Report_M78_Muisne_Ecuador_Earthquake_on_April_16_2016
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. [Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional.
<https://www.tdx.cat/handle/10803/6259;jsessionid=48D03019987865EB736D3164C68EBD83>
- Leonard, M. (2012). Earthquake fault scaling: Self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 102(6), 2797-2797. <https://doi.org/10.1785/0120090189>.

- Lopez, O. (2008). *Protección de las Escuelas contra los Terremotos*. [Tesis de pregrado, Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat]. Repositorio Institucional.
http://www.acading.org.ve/info/publicaciones/TRABAJOS_INCORPORACION/TI_OSCAR_LOPEZ.pdf
- Maldonado, E. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión de territorio a nivel escala 1:25 000*. Ministerio de Defensa. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/RUMI%C3%91AHUI/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_ruminahui_infraestructura.pdf
- Martí, R. (2003). Procedimientos metaheurísticos en optimización combinatoria. *Matemáticas, Universidad de Valencia*. 1(1), 3-62. <https://www.uv.es/rmarti/paper/docs/heur1.pdf>.
- Mena Hernández, U. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. [Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional.
<https://www.tdx.cat/handle/10803/6222#page=1>
- Metro Puerto Rico. (2020). Colapsa escuela en Guánica.
<https://www.metro.pr/pr/noticias/2020/01/07/colapsa-escuela-en-guanica.html>
- MIDUVI, & CAMICON. (2014). *NEC: Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>
- MIDUVI, SNGR, PNUD, & ECHO. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad a la norma con la Norma Ecuatoriano de la Construcción NEC 2015*. Ministerio de Desarrollo y Vivienda.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>

Molchanov, O., Kopytenko, Y. A., Voronov, P., Kopytenko, E., Matiashvili, T., Fraser-Smith, A., & Bernardi, A. (1992). Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ($M_s= 6.9$) and Loma Prieta ($M_s= 7.1$) earthquakes: Comparative analysis. *Geophysical Research Letters*. 19(14), 1495-1498. <https://doi.org/10.1029/92GL01152>.

Moquete Rosario, F. E. (2012). *Evaluación del riesgo sísmico en edificios especiales: Escuelas. Aplicación a Barcelona*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/17871?locale-attribute=es>

Moreira, A., Palma, J., & Villao, K. (2018). *Análisis de daños estructurales causados por sismos en las Unidades Educativas públicas de Calceta, Manabí después del terremoto del 16 de abril del 2016*. Researchgate.

https://www.researchgate.net/publication/328842467_ANALISIS_DE_DANOS_ESTRUCTURALES_CAUSADOS_POR_SISMOS_EN_LAS_UNIDADES_EDUCATIVAS_PUBLICAS_DE_CALCETA_-MANABI_DESPUES_DEL_TERREMOTO_DEL_16_DE_ABRIL_DEL_2016

Moreno Cansado, A. (2016). Fichas Fundación MUSAAT. Cimentaciones profundas: pilotes. *Cercha: revista de la Arquitectura Técnica*(127), 56-63. <http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/534>.

Municipio de Rumiñahui. (2018). Rumiñahui Gobierno Municipal. <http://www.ruminahui.gob.ec/rumi3/>

- Navas, L., Caiza, P., & Toulkeridis, T. (2018). An evaluated comparison between the molecule and steel framing construction systems—implications for the seismic vulnerable Ecuador. *Malaysia Construction Research Journal (MCRJ)*. 26(3), 87-109.
https://www.researchgate.net/publication/330365637_AN_EVALUATED_COMPARISON_BETWEEN_THE_MOLECULE_AND_STEEL_FRAMING_CONSTRUCTION_SYSTEMS-IMPLICATIONS_FOR_THE_SEISMIC_VULNERABLE_ECUADOR.
- Núñez Naranjo, K. M. (2016). *Aplicación de la evaluación técnica visual de estructuras ante fenómenos naturales, para cuatro puentes que atraviesan el Río Santa Clara, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11270>
- Obando Rivera, G. A., & Rodríguez Anton, R. A. (2008). *Estudio de vulnerabilidad sísmica del Hospital Fernando Vélez Paiz*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUNANM5000>
- Okuwaki, R., & Yagi, Y. (2017). Rupture process during the Mw 8.1 2017 Chiapas Mexico earthquake: Shallow intraplate normal faulting by slab bending. *Geophysical Research Letters*. 44(23), 11,816-811,823 <https://doi.org/10.1002/2017GL075956>.
- Pachar Romero, B. Á., & Paredes Valle, I. S. (2019). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de las ocho estructuras del MIDENA, mediante la metodología FEMA P-154, y propuesta de reforzamiento estructural en la edificación más vulnerable*. [Tesis de pregrado,

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional.

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/21367>

Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007).

Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador>

Rondón, M. E., Araujo, G. I., & Chio, C. G. (2008a). Funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de mampostería utilizando técnicas de simulación. *Dyna*. 75(155), 63-76. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49611953008.pdf>.

Rondón, M. E., Araujo, G. I., & Chio, C. G. (2008b). Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico. *Ingeniería e Investigación*. 28(3), 28-40.

<http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingev/arti...>

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2016). *Informe de situación No. 63 (10/05/2016)*

18H00 Terremoto 7.8° Pedernales

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/redhum_ec_informe-63-del-10-05_sgr.pdf

Souza, J. (2019). ¿Qué significan las grietas en las estructuras de hormigón? *Plataforma*

Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/880210/que-significan-las-grietas-en-las-estructuras-de->

Implications. *Science of tsunami Hazards*. 36(4), 78-123.

https://www.researchgate.net/publication/321596484_The_78_Mw_Earthquake_and_Tsunami_of_the_16th_April_2016_in_Ecuador_-_Seismic_evaluation_Geological_field_survey_and_Economic_implications.

U.S. Department of Education. (2013). *Guide for Developing High-Quality School Emergency Operations Plans*. Office of Elementary and Secondary Education, Office of Safe and Healthy Students.

https://rems.ed.gov/docs/Guide_for_Developing_HQ_School_EOPs.pdf

UNICEF, Centroamérica, C. d. E. y. C. d., & (EIRD), E. I. p. I. R. d. D. (2017). *Escuela segura en territorio seguro*. Coordinación de Educación y Cultura de Centroamérica.

https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/EscuelasSeguras/Escuela_Segura_En_Territorio_Seguro.pdf

Uretek. (2020). Estabilización de suelos y edificios mediante inyecciones de resina expansiva.

<https://www.uretek.es/soluciones/consolidacion-suelos/causas-los-asentamientos/>

Valcárcel Torres, J. A. (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio Institucional. <https://www.tdx.cat/handle/10803/116820>

Vásquez León, C. A. (2015). *Análisis del desempeño sísmico del edificio Peña, aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 vigente en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2202>

Yepes, H. (2014). *Breve reseña de los sismos provenientes de la falla geológica de Quito que han afectado a la Capital*. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.

<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/898-breve-rese%C3%B1a-de-los-sismos-provenientes-de-la-falla-geol%C3%B3gica-de-quito-que-han-afectado-a-la-capital>

Apéndices

Apéndice A

Guía para Evaluar el Grado de Vulnerabilidad Sísmica de Unidades Educativas de la Parroquia de Sangolquí

Apéndice B

Plan de Operación de Emergencias

Apéndice C

Formularios de Evaluación

Apéndice D

Estudio de caso