



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA “ESCUELA DE  
EDUCACIÓN BÁSICA FISCAL RAFAEL CRUZ CEVALLOS”, UBICADA EN EL  
BARRIO ASISTENCIA SOCIAL, PARROQUIA QUITUMBE, CANTÓN QUITO,  
PROVINCIA PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Civil

AUTOR: Lenin Paúl Díaz Shugulí

TUTOR: Carlos Alexis Ayala Moya

Quito-Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Lenin Paúl Díaz Shugulí con documento de identificación N° 1753102761 manifiesto que:  
Soy el autor responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad  
Politécnica Salesiana puede usar, difundir, reproducir o publicar de manera total parcial el presente  
trabajo de titulación.

Quito, 26 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Lenin Paúl Díaz Shugulí

1753102761

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Lenin Paúl Díaz Shugulí con documento de identificación N° 1753102761, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Evaluación de vulnerabilidad sísmica de la Escuela de Educación Básica Fiscal Rafael Cruz Cevallos, ubicada en el barrio Asistencia Social, parroquia Quitumbe, cantón Quito, provincia Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifiesto, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en forma digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Lenin Paúl Díaz Shugulí

1753102761

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Alexis Ayala Moya con documento de identificación N° 1712968971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA FISCAL RAFAEL CRUZ CEVALLOS, UBICADA EN EL BARRIO ASISTENCIA SOCIAL, PARROQUIA QUITUMBE, CANTÓN QUITO, PROVINCIA PICHINCHA, realizado por Lenin Paúl Díaz Shugulí con documento de identificación N° 1753102761, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Carlos Alexis Ayala Moya, MSc

1712968971

## **DEDICATORIA**

A mis padres Clara y Miguel, a mis hermanos Kevin y Carolina por su apoyo total durante el transcurso de mi vida académica, siendo el pilar fundamental que me ayudo a superar todas las adversidades que se me han presentado.

A mi familia, por formar parte de este proceso de formación como profesional y como persona, por el cariño y respeto recibido de mis abuelos maternos y paternos, que como muestra de amor consolidaron un familia unida y solidaria.

*Lenin Paúl Díaz Shugulí*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a la vida, por haberme permitido completar mi formación profesional, a toda mi familia que siempre me apoyaron sin importar las adversidades, espero este logro sea un ejemplo de perseverancia y esfuerzo.

A las personas, amigos y docentes que conocí durante el transcurso de la carrera, con las que formé un vínculo que me permitió crecer como persona y como profesional.

Un agradecimiento especial a mi abuelito Leónidas, por su gran amor, apoyo incondicional y los valores inculcados, estoy seguro que desde el cielo nos sigue guiando y protegiendo.

*Lenin Paúl Díaz Shugulí*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1 Introducción.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Problema de Estudio.....</i>	<i>2</i>
1.2.1 Antecedentes .....	2
1.2.2 Importancia y Alcance .....	2
1.2.3 Delimitación.....	4
<i>1.3 Justificación .....</i>	<i>4</i>
<i>1.4 Objetivos .....</i>	<i>5</i>
1.4.1 Objetivo General .....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>7</b>
<i>2.1 Peligro sísmico.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2 Origen de los sismos .....</i>	<i>8</i>
2.2.1 Deriva continental .....	8
2.2.2 Teoría de la tectónica de placas .....	9
2.2.3 Cinturón de fuego del Pacífico .....	11
<i>2.3 Riesgo sísmico en Quito.....</i>	<i>12</i>
2.3.1 Sistema de fallas de Quito.....	12
<i>2.4 Sistemas estructurales.....</i>	<i>14</i>
2.4.1 Sistema estructural a porticado constituido por columnas, losas y vigas banda.....	14
2.4.2 Sistema estructural a porticado constituido por columnas, losas y vigas peraltadas. ....	16
<i>2.5 Patologías estructurales .....</i>	<i>17</i>
2.5.1 Irregularidad vertical.....	17
2.5.2 Irregularidad en planta .....	19
2.5.3 Excesiva flexibilidad estructural.....	20
2.5.4 Excesiva flexibilidad de piso .....	21
<i>2.6 Diseño sismorresistente .....</i>	<i>21</i>

2.6.1 Zonificación sísmica .....	22
2.6.2 Geología local perfiles del suelo .....	23
2.6.3 Coeficientes de amplificación del suelo .....	25
2.6.3.1 Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de periodo corto $F_a$ .....	25
2.6.3.2 Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca $F_d$ .....	25
2.6.3.3 Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos $F_s$ .....	26
2.6.4 Microzonificación sísmica y geotécnica.....	27
2.6.5 Componentes horizontales de la carga sísmica.....	28
2.6.5.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	28
2.6.5.2 Periodo fundamental de vibración $T$ .....	33
2.6.6 Metodología del diseño sismorresistente .....	34
2.6.6.1 Coeficientes de importancia de la edificación $I$ .....	34
2.6.6.2 Filosofía de diseño .....	35
2.6.6.3 Límites permisibles de las derivas de los pisos .....	37
2.6.6.4 Configuración estructural.....	37
2.6.6.5 Irregularidades y coeficientes de configuración estructural .....	39
2.6.7 Diseño basado en fuerzas (DBF) .....	41
2.6.7.1 Carga sísmica reactiva $W$ .....	42
2.6.7.2 Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica $R$ .....	43
2.6.7.3 Cortante basal de diseño .....	45
2.6.7.4 Distribución vertical de las fuerzas sísmicas .....	46
2.6.7.5 Control de derivas de piso.....	46
2.7 <i>Evaluación y rehabilitación</i> .....	47
2.8 <i>Evaluación sísmica de estructuras existentes pre evento</i> .....	48
2.9 <i>Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras existentes Pre evento</i> .....	48
2.9.1 Evaluación visual rápida de acuerdo con el FEMA 154.....	53
2.10 <i>Reforzamiento estructural</i> .....	53
2.10.1 Encamisado con concreto reforzado .....	54
2.10.2 Enchapado de mampostería .....	56
2.10.3 Reforzamiento con elementos metálicos .....	57

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>58</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>58</b>
<i>3.1 Tipo de Investigación.....</i>	<i>58</i>
<i>3.2 Método de investigación .....</i>	<i>58</i>
<i>3.3 Técnica de recolección de información .....</i>	<i>58</i>
<i>3.4 Proceso técnico.....</i>	<i>59</i>
<i>3.4.1 Recolección información In situ .....</i>	<i>59</i>
<i>3.4.2 Uso de fichas técnicas normadas .....</i>	<i>59</i>
<i>3.4.3 Análisis estructural.....</i>	<i>59</i>
<i>3.4.4 Métodos de reforzamiento estructural .....</i>	<i>59</i>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>60</b>
<b>EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....</b>	<b>60</b>
<i>4.1 Descripción general de la edificación .....</i>	<i>60</i>
<i>4.1.1 Identificación de la institución.....</i>	<i>62</i>
<i>4.1.2 Áreas de la institución.....</i>	<i>62</i>
<i>4.2 Inspección y evaluación del estado general de la edificación.....</i>	<i>71</i>
<i>4.2.1 Nivel de sismicidad.....</i>	<i>71</i>
<i>4.3 Patologías estructurales graves en la edificación.....</i>	<i>75</i>
<i>4.3.1 Adecuación de aulas adosadas al bloque 2 de la institución.....</i>	<i>76</i>
<i>4.3.2 Irregularidades en el bloque 1 de la institución .....</i>	<i>84</i>
<i>4.4 Elementos estructurales principales.....</i>	<i>86</i>
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>92</b>
<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ESCUELA RAFAEL CRUZ CEVALLOS .....</b>	<b>92</b>
<i>5.1 Normativa a usar .....</i>	<i>92</i>
<i>5.2 Cargas a considerar .....</i>	<i>92</i>
<i>5.2.1 Carga Viva .....</i>	<i>92</i>
<i>5.2.2 Peso propio.....</i>	<i>92</i>
<i>5.2.3 Carga muerta permanente .....</i>	<i>93</i>
<i>5.2.4 Carga sísmica.....</i>	<i>93</i>
<i>5.2.5 Combinaciones de carga .....</i>	<i>93</i>

5.2.6 Espectro de diseño .....	94
5.2.7 Periodo de vibración .....	97
5.2.8 Cortante basal.....	98
5.3 <i>Modelado de las estructuras</i> .....	99
5.3.1 Características de los elementos de hormigón armado .....	99
5.3.2 Características de los elementos de acero .....	99
5.4 <i>Análisis de resultados</i> .....	101
5.4.1 Modos de vibración.....	102
5.4.1.1 Bloque 1 .....	102
5.4.1.2 Bloque 2.....	104
5.4.1.3 Bloque 3 .....	106
5.4.2 Derivas de piso.....	108
5.4.2.1 Bloque1 .....	109
5.4.2.2 Bloque 2.....	109
5.4.2.3 Bloque 3 .....	110
5.5 <i>Relación demanda capacidad D/C</i> .....	111
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>115</b>
<b>REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....</b>	<b>115</b>
6.1 <i>Antecedentes</i> .....	115
6.2 <i>Medidas de rehabilitación</i> .....	115
6.3 <i>Alcance y limitaciones</i> .....	116
6.4 <i>Consideraciones</i> .....	116
6.5 <i>Alternativa de reforzamiento</i> .....	116
6.5.1 Recrecido de hormigón .....	117
6.5.2 Análisis de la estructura rehabilitada .....	122
6.6 <i>Edificaciones que no se pueden rehabilitar</i> .....	128
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Factores de zona $Z$ .....	23
<b>Tabla 2</b> Tipos de perfiles de suelos. ....	24
<b>Tabla 3</b> Factores de amplificación del suelo $F_a$ .....	25
<b>Tabla 4</b> Coeficiente de amplificación del suelo $F_d$ .....	26
<b>Tabla 5</b> Coeficiente de amplificación del suelo $F_s$ . ....	26
<b>Tabla 6</b> Ecuaciones del espectro elástico de diseño. ....	30
<b>Tabla 7</b> Zonas del espectro de diseño elástico.....	31
<b>Tabla 8</b> Factor $\eta$ .....	31
<b>Tabla 9</b> Factor $r$ . ....	32
<b>Tabla 10</b> Coeficientes $C_t$ y $\alpha$ . ....	34
<b>Tabla 11</b> Factor de importancia $I$ . ....	34
<b>Tabla 12</b> Objetivos de diseño NEC-15. ....	36
<b>Tabla 13</b> Derivas máximas permitidas NEC-15. ....	37
<b>Tabla 14</b> Configuraciones estructurales. ....	38
<b>Tabla 15</b> Configuraciones estructurales recomendadas.....	38
<b>Tabla 16</b> Configuraciones estructurales no recomendadas.....	39
<b>Tabla 17</b> Coeficiente de irregularidad en planta $\phi_p$ .....	40
<b>Tabla 18</b> Coeficiente de irregularidad en elevación $\phi_e$ . ....	41
<b>Tabla 19</b> Factor de reducción sísmica $R$ para sistema estructurales dúctiles.....	44
<b>Tabla 20</b> Factor de reducción sísmica $R$ para sistemas estructurales de ductilidad limitada. ....	45
<b>Tabla 21</b> Planificación de la inspección y evaluación de estructuras existente. ....	49
<b>Tabla 22</b> Clasificación de la región sísmica. ....	53
<b>Tabla 23</b> Identificación de la institución.....	62
<b>Tabla 24</b> Cuadro de área de la institución. ....	63
<b>Tabla 25</b> Cuadro de áreas bloque principal. ....	64
<b>Tabla 26</b> Cuadro de áreas bloque secundario. ....	64
<b>Tabla 27</b> Cuadro de área del graderío. ....	65
<b>Tabla 28</b> Cuadro de áreas totales. ....	65
<b>Tabla 29</b> Coeficientes de amplificación del suelo del Barrio Asistencia Social.....	71

<b>Tabla 30</b> <i>Aceleración espectral <math>S_s</math> y <math>S_1</math>.</i> .....	72
<b>Tabla 31</b> <i>Determinación de la región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral.</i> .....	72
<b>Tabla 32</b> <i>Formulario de inspección visual rápida de Nivel 1.</i> .....	73
<b>Tabla 33</b> <i>Deflexiones medidas en losa de entrepiso aula 4.</i> .....	81
<b>Tabla 34</b> <i>Cuadro de columnas bloque 1.</i> .....	87
<b>Tabla 35</b> <i>Cuadro de columnas del bloque 2.</i> .....	88
<b>Tabla 36</b> <i>Cuadro de columnas bloque 3.</i> .....	89
<b>Tabla 37</b> <i>Cuadro de columnas bloque 4.</i> .....	90
<b>Tabla 38</b> <i>Cuadro de vigas bloque 1.</i> .....	90
<b>Tabla 39</b> <i>Cuadro de vigas bloque 2.</i> .....	91
<b>Tabla 40</b> <i>Cuadro de vigas bloque 3.</i> .....	91
<b>Tabla 41</b> <i>Carga Viva para Unidades Educativas.</i> .....	92
<b>Tabla 42</b> <i>Carga muerta permanente.</i> .....	93
<b>Tabla 43</b> <i>Valores para determinar el espectro de diseño.</i> .....	95
<b>Tabla 44</b> <i>Periodos de vibración límites.</i> .....	95
<b>Tabla 45</b> <i>Valores para determinar el espectro de diseño.</i> .....	96
<b>Tabla 46</b> <i>Periodos de vibración.</i> .....	97
<b>Tabla 47</b> <i>Modos de vibración bloque 1.</i> .....	102
<b>Tabla 48</b> <i>Participación de masa en los modos de vibración del bloque 1.</i> .....	103
<b>Tabla 49</b> <i>Peso de la estructura bloque 1.</i> .....	103
<b>Tabla 50</b> <i>Cortante basal bloque 1.</i> .....	104
<b>Tabla 51</b> <i>Modos de vibración bloque 2.</i> .....	104
<b>Tabla 52</b> <i>Participación de masa en los modos de vibración del bloque 2.</i> .....	105
<b>Tabla 53</b> <i>Peso de la estructura bloque 2.</i> .....	105
<b>Tabla 54</b> <i>Cortante basal bloque 2.</i> .....	106
<b>Tabla 55</b> <i>Modos de vibración bloque 3.</i> .....	106
<b>Tabla 56</b> <i>Participación de masa en los modos de vibración del bloque 3.</i> .....	107
<b>Tabla 57</b> <i>Peso de la estructura bloque 3.</i> .....	107
<b>Tabla 58</b> <i>Cortante basal bloque 3.</i> .....	108
<b>Tabla 59</b> <i>Derivas de piso bloque 1.</i> .....	109

<b>Tabla 60</b> <i>Derivas de piso bloque 2</i> .....	110
<b>Tabla 61</b> <i>Derivas de piso bloque 3</i> .....	111
<b>Tabla 62</b> <i>Elementos estructurales bloque 3 que fallaron</i> . ....	114
<b>Tabla 63</b> <i>Columnas a reforzar</i> . ....	118
<b>Tabla 64</b> <i>Modos de vibración bloque 3 reforzado</i> . ....	122
<b>Tabla 65</b> <i>Participación de masa en los modos de vibración del bloque 3 reforzado</i> . ....	123
<b>Tabla 66</b> <i>Peso de la estructura bloque 3 reforzado</i> . ....	123
<b>Tabla 67</b> <i>Cortante basal bloque 3 reforzado</i> . ....	124
<b>Tabla 68</b> <i>Derivas de piso bloque 3 reforzado</i> . ....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ubicación Escuela Rafael Cruz Cevallos.</i>	4
<b>Figura 2</b>	<i>Supercontinente Pangea.</i>	9
<b>Figura 3</b>	<i>Mapa de placas tectónicas.</i>	10
<b>Figura 4</b>	<i>Corrientes de convección.</i>	10
<b>Figura 5</b>	<i>Cinturón de fuego del Pacífico.</i>	11
<b>Figura 6</b>	<i>Sistema de Fallas de Quito y Guayllabamba.</i>	13
<b>Figura 7</b>	<i>Falla de sistema de Quito.</i>	14
<b>Figura 8</b>	<i>Losa de hormigón armado.</i>	15
<b>Figura 9</b>	<i>Sistema estructural aporticado con vigas banda.</i>	16
<b>Figura 10</b>	<i>Sistema estructural a porticado con vigas peraltadas.</i>	17
<b>Figura 11</b>	<i>Irregularidades verticales NEC -15.</i>	18
<b>Figura 12</b>	<i>Irregularidad vertical o en elevación.</i>	19
<b>Figura 13</b>	<i>Edificaciones con irregularidad en planta.</i>	20
<b>Figura 14</b>	<i>Sistema estructural dual.</i>	21
<b>Figura 15</b>	<i>Mapa de zonificación sísmica.</i>	22
<b>Figura 16</b>	<i>Microzonificación de los suelos de Quito.</i>	27
<b>Figura 17</b>	<i>Espectro elástico horizontal de diseño NEC-SE-DS 2015.</i>	29
<b>Figura 18</b>	<i>Espectro elástico de Diseño.</i>	30
<b>Figura 19</b>	<i>Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones nivel 1.</i>	51
<b>Figura 20</b>	<i>Formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones nivel 2.</i>	52
<b>Figura 21</b>	<i>Encamisado de concreto reforzado.</i>	55
<b>Figura 22</b>	<i>Enchapado estructural.</i>	56
<b>Figura 23</b>	<i>Reforzamiento estructural con acero.</i>	57
<b>Figura 24</b>	<i>Fachada Escuela Rafael Cruz Cevallos.</i>	60
<b>Figura 25</b>	<i>Bloque principal Escuela Rafael Cruz Cevallos.</i>	63
<b>Figura 26</b>	<i>Bloque secundario Escuela Rafael Cruz Cevallos.</i>	64
<b>Figura 27</b>	<i>Graderío de la institución.</i>	65
<b>Figura 28</b>	<i>Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 1.</i>	66

<b>Figura 29</b> <i>Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 2.</i> .....	67
<b>Figura 30</b> <i>Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 3.</i> .....	67
<b>Figura 31</b> <i>Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 4.</i> .....	68
<b>Figura 32</b> <i>Esquema de la edificación planta baja.</i> .....	69
<b>Figura 33</b> <i>Esquema de la edificación planta alta.</i> .....	70
<b>Figura 34</b> <i>Formulario de inspección visual rápida de Nivel 2.</i> .....	74
<b>Figura 35</b> <i>Vista en planta aulas del bloque 2.</i> .....	76
<b>Figura 36</b> <i>Modelo tridimensional del bloque 2.</i> .....	76
<b>Figura 37</b> <i>Vista en planta de columnas vigas y losas del bloque 2.</i> .....	78
<b>Figura 38</b> <i>Portico aula 4 y 11.</i> .....	78
<b>Figura 39</b> <i>Modelo tridimensional de la construcción acoplada al bloque 2.</i> .....	79
<b>Figura 40</b> <i>Viga peraltada número 7 del bloque 2.</i> .....	79
<b>Figura 41</b> <i>Fisuras en la losa del aula número 4.</i> .....	80
<b>Figura 42</b> <i>Fallas estructurales aula 11.</i> .....	80
<b>Figura 43</b> <i>Discontinuidad de columnas.</i> .....	81
<b>Figura 44</b> <i>Mediciones en losa de entepiso.</i> .....	82
<b>Figura 45</b> <i>Vista en planta construcción informal.</i> .....	84
<b>Figura 46</b> <i>Vista en planta Bloque 1.</i> .....	85
<b>Figura 47</b> <i>Vista en planta bloque 1.</i> .....	87
<b>Figura 48</b> <i>Vista en planta bloque 2.</i> .....	88
<b>Figura 49</b> <i>Vista en planta bloque 3.</i> .....	89
<b>Figura 50</b> <i>Espectro de diseño elástico e inelástico para porticos resistentes a momento con vigas perlatadas.</i> .....	96
<b>Figura 51</b> <i>Espectro de diseño elástico e inelástico para pórticos resistentes a momento con vigas banda.</i> .....	97
<b>Figura 52</b> <i>Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 1.</i> .....	100
<b>Figura 53</b> <i>Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 2.</i> .....	101
<b>Figura 54</b> <i>Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 3.</i> .....	101
<b>Figura 55</b> <i>Análisis de la estructura bloque 1.</i> .....	112
<b>Figura 56</b> <i>Análisis de la estructura bloque 2.</i> .....	113
<b>Figura 57</b> <i>Análisis de la estructura bloque 3.</i> .....	114

<b>Figura 58</b> <i>Encamisado de columna.</i> .....	118
<b>Figura 59</b> <i>Sección de columnas a reforzar.</i> .....	119
<b>Figura 60</b> <i>Diagrama de interacción columna 35 cm x 35cm.</i> .....	120
<b>Figura 61</b> <i>Diagrama de interacción columna 40 cm x 40 cm.</i> .....	121
<b>Figura 62</b> <i>Análisis de la estructura bloque 3 reforzado.</i> .....	125
<b>Figura 63</b> <i>Columna a ser reforzada.</i> .....	126
<b>Figura 64</b> <i>Columna recrecida de hormigón.</i> .....	127

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación, tiene como objetivo el desarrollo de la evaluación de vulnerabilidad sísmica de la Escuela de Educación Básica Fiscal Rafael Cruz Cevallos, ubicada en el sur de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha. El predio perteneciente al Ministerio de Educación, tiene un área de acuerdo a las escrituras de 1255.62 metros cuadrados, y un área de construcción de 1138.00 metros cuadrados, su construcción inicio en septiembre de 1983.

Se realizó una visita técnica a la institución, donde se pudo constatar ciertas patologías estructurales, que ponen en riesgo la integridad estructural de las instalaciones de la unidad educativa, y la integridad física de sus ocupantes, esto debido a que se adecuó e intervino ciertos espacios, que no contaron con la planificación, diseño y supervisión de un profesional de la construcción.

Se procedió a realizar un análisis estructural, haciendo uso de herramientas computacionales como SAP 2000 y ETABS, en el cual se analizó a detalle las estructuras propensas al colapso y que presentaban fallas estructurales importantes, con lo cual se pudo concluir que ciertas estructuras pertenecientes a la escuela, no cumplen con los requisitos mínimos de calidad y seguridad que establece la NEC.

Se procedió a realizar propuestas de reforzamiento estructural, en donde las condiciones permiten realizarlas, para otros espacios la mejor opción fue optar por la demolición de elementos estructurales mal planificados y por ende mal construidos, que comprometen la integridad física de sus ocupantes y la integridad estructural de toda la construcción.

*Palabras clave:* Peligro sísmico, rehabilitación, reforzamiento estructural, vulnerabilidad sísmica.

## ABSTRACT

The objective of this project is to develop a seismic vulnerability assessment of the Rafael Cruz Cevallos Elementary School, located in the south of the city of Quito, province of Pichincha. The property belongs to the Ministry of Education, has an area according to the deeds of 1255.62 square meters, and a construction area of 1138.00 square meters, its construction began in September 1983.

A technical visit was made to the institution, where it was possible to verify certain structural pathologies, which put at risk the structural integrity of the facilities of the educational unit, and the physical integrity of its occupants, due to the fact that certain spaces were adapted and intervened, which did not have the planning, design and supervision of a construction professional.

A structural analysis was carried out using computational tools such as SAP 2000 and ETABS, which analyzed in detail the structures prone to collapse and which had major structural failures, which led to the conclusion that certain structures belonging to the school did not meet the minimum quality and safety requirements established by the NEC.

Proposals for structural reinforcement were made where conditions permitted; for other spaces, the best option was to demolish poorly planned and therefore poorly constructed structural elements, which compromised the physical integrity of the occupants and the structural integrity of the entire building.

*Key words:* Seismic hazard, rehabilitation, structural strengthening, seismic vulnerability.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Nuestro país se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad debido que nos encontramos en el cinturón de fuego del pacífico, una zona rodeada de volcanes activos capaces de generar eventos sísmicos considerables. El Ecuador a experimentado eventos sísmicos a lo largo de su historia, muchos han sido de gran magnitud, desencadenando una serie de efectos adversos como el colapso de estructuras, pérdidas económicas y humanas como en el sismo del 16 de abril del 2016 que tuvo su origen en la provincia de Manabí, el mismo fue de magnitud 7.8 en la escala de Richter, sin lugar a duda fue uno de los sismos más destructivos que ha experimentado el país.

Debido al peligro sísmico al que estamos expuestos, debido a lo antes mencionado, es de suma importancia el diseño de estructuras sísmicas, que sean tengan un comportamiento adecuado durante un evento sísmico, con el fin de mitigar las pérdidas económicas y salvaguardar la vida de sus ocupantes. Nuestro país cuenta con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que establece criterios de calidad y seguridad que deben cumplir todas las edificaciones dentro del territorio, la misma establece una filosofía de diseño que busca que las estructuras sean dúctiles, con el fin de disipar la mayor cantidad de energía de manera segura.

La ciudad de Quito se encuentra asentado sobre un sistema de fallas geológicas, por lo que se han ocurrido eventos sísmicos, que nos recuerda la importancia de una buena planificación, diseño y construcción. Lastimosamente la construcción informal es cada vez más frecuente, se construye en zonas de riesgo sin respetar las normas mínimas de calidad y seguridad, omitiendo todos los procedimientos normados y sumados a la baja calidad de los materiales, derivan en

patologías estructurales que comprometen la integridad de las edificaciones poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes.

Se puede mitigar los efectos adversos producto de las patologías estructurales que pueda presentar una edificación, a través de la evaluación y reforzamiento de sus estructuras, con la finalidad de garantizar un comportamiento adecuado durante un evento sísmico.

En el presente trabajo se realizará un análisis sísmico de la Escuela de Educación Básica Rafael Cruz Cevallos, ubicada en la ciudad de Quito en el barrio Asistencia Social, a partir de los resultados se propondrá medidas de reforzamiento que garanticen un comportamiento adecuado de las edificaciones ante las solicitaciones a las cuales va a ser expuesta.

## **1.2 Problema de Estudio**

### ***1.2.1 Antecedentes***

Actualmente en nuestro país existen varias instituciones educativas, que fueron construidas ya hace varias décadas sin respetar los códigos de diseño establecidos en la normativa NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Ésta garantiza los requisitos mínimos de seguridad y calidad que deben cumplir las edificaciones. Además, debido al creciente número de población estudiantil en las últimas décadas, y con la finalidad de satisfacer el derecho a la educación, dichas instituciones han realizado ampliaciones y adecuaciones de nuevos espacios. Los mismos que no fueron planificados, diseñados y ejecutados por un profesional de la construcción que garantice la calidad y seguridad de las estructuras readecuadas.

### ***1.2.2 Importancia y Alcance***

Nuestro país se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad, por lo cual, el riesgo de daño severo o colapso de una estructura que no cumple con los requisitos mínimos de seguridad y calidad, aumenta durante eventos no previstos como sismos. Las edificaciones informales, debido

a la falta de control durante su proceso, diseño y construcción, con el tiempo debido a su peso propio y el uso para el cual fueron construidas, presentan ciertas patologías que comprometen su seguridad estructural. Esto pone en riesgo las instalaciones, y la vida de sus ocupantes.

Actualmente la infraestructura con la que cuenta la Escuela de Educación Básica Fiscal Rafael Cruz Cevallos, presenta ciertas irregularidades en la configuración estructural. Esto producto de su proceso de construcción y adecuación de nuevos espacios en distintas etapas. Las readecuaciones realizadas, no han sido regularizadas bajo ninguna normativa, ni supervisadas por ningún profesional estructural. Las estructuras existentes presentan daños considerables en elementos estructurales como vigas, columnas y losas.

Una evaluación de vulnerabilidad nos permitirá conocer la susceptibilidad de las estructuras de la Escuela Rafael Cruz Cevallos, y tomar acciones que mitiguen el riesgo de colapso o daño estructural severo ante un evento sísmico. Salvaguardando la integridad estructural de las instalaciones, y la vida e integridad física de sus ocupantes.

De acuerdo a los códigos de diseño de nuestro país recopilados en la NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción), establece ciertos requisitos mínimos de calidad y seguridad que deben cumplir las edificaciones en todas las etapas constructivas, clasifica a las escuelas y centros de educación, como estructuras de ocupación especial, las mismas que deben cumplir con los objetivos de diseño que son, prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales ante terremotos pequeños y frecuentes, prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales ante terremotos moderados y poco frecuentes, evitar el colapso ante terremotos severos que puedan ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, salvaguardando la vida de sus ocupantes. La Escuela de Educación Básica Fiscal Rafael Cruz Cevallos presenta ya daños en

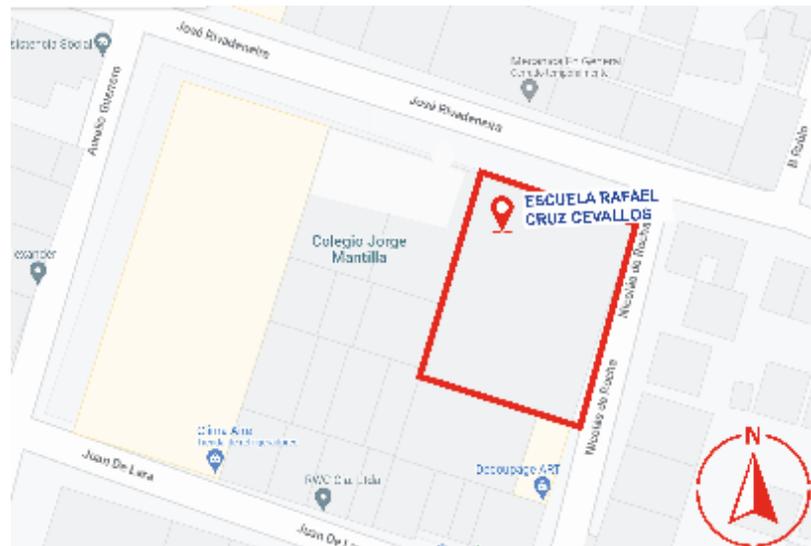
elementos estructurales que componen sus instalaciones los mismo que comprometen su seguridad estructural.

### ***1.2.3 Delimitación***

La Escuela de Educación Básica Rafael Cruz Cevallos, se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Quito provincia de Pichincha, en las calles José Rivadeneira E2-86 Nicolas de Rocha, barrio Asistencia Social parroquia Quitumbe. A continuación, la Figura 1 muestra su ubicación.

### **Figura 1**

*Ubicación Escuela Rafael Cruz Cevallos.*



*Nota.* En la figura se muestra delimitada el área de la unidad educativa. Elaborado por: El autor.

### **1.3 Justificación**

El presente trabajo titulación nace del interés por la seguridad estructural de las instalaciones que conforman la Escuela de Educación Básica Fiscal Rafael Cruz Cevallos. A través de una visita técnica, y una inspección visual rápida, se pudo observar grietas, fisuras, deformaciones excesivas en losas y vigas, reducción de las secciones en columnas y configuraciones estructurales inadecuadas. Las estructuras observadas, no cumplen con los

requisitos mínimos de calidad y seguridad, por ende, comprometen su seguridad estructural durante su operación o funcionamiento.

Este proyecto beneficiará a la comunidad académica de la escuela, alumnos y docentes. Debido a las fallas estructurales observadas por los docentes y demás personal de la misma, ciertos espacios han sido inhabilitados y restringidos para uso. A través de este proyecto se pretende rehabilitar estos espacios cumpliendo con normas de funcionalidad y seguridad.

El desarrollo y ejecución de este proyecto es viable, debido a que se cuenta con el apoyo de las autoridades de la unidad educativa, las cuales facilitaran el ingreso a las instalaciones a ser evaluadas, y entregaran la información con la cuentan de las instalaciones y su proceso de construcción. Adicionalmente se cuenta con información documental, normativas, manuales de diseño y la colaboración de los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana.

Este proyecto servirá como base para futuras evaluaciones de vulnerabilidad sísmica de otras unidades educativas. Esto debido a que es común que las instalaciones de múltiples centros educativos presenten fallas o patologías estructurales, las mismas que comprometen su seguridad y funcionalidad. Esto debido a que durante su proceso de diseño, construcción y ejecución no se respetaron estándares de calidad y seguridad, establecidos en la normativa vigente.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica de las estructuras que conforman la Escuela de Educación Fiscal Básica Rafael Cruz Cevallos, a través de información recabada in situ y procedimientos normados, con la finalidad de conocer el estado actual de las instalaciones de la unidad educativa.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

Recolectar información en situ, de las estructuras que componen las instalaciones de la Escuela de Educación Básica Rafel Cruz Cevallos, a través de visitas técnicas, con la finalidad de generar planos arquitectónicos de las instalaciones.

Realizar un modelo y análisis estructural estático no lineal Pushover, de las estructuras con las que cuenta la institución educativa, haciendo uso de herramientas computacionales de análisis estructural como Sap 2000 y Etabs, para conocer la respuesta estructural ante las cargas a las cuales van a ser solicitadas las estructuras.

Determinar el estado actual de las estructuras de la Escuela, en el que conste además una serie de procedimientos y readecuaciones, con base a los resultados obtenidos de los análisis previos, con la finalidad de corregir daños estructurales encontrados, y mitigar los efectos adversos durante su vida útil.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **2.1 Peligro sísmico**

El Ecuador, por su ubicación geográfica, es susceptible a experimentar eventos sísmicos, los cuales pueden originarse en diferentes fuentes como, fallas geológicas, volcanes, explotación minera entre otras. Debido a que nuestro país se encuentra atravesado por el cinturón de fuego del pacífico, aumenta la probabilidad de experimentar un sismo en un periodo corto de tiempo. (EPN, 2022)

Los sismos pueden suscitarse por causas naturales como, el deslizamiento o choque de dos placas tectónicas, erupciones volcánicas violentas, deslizamientos masivos de tierra y por cambios bruscos en la presión atmosférica. Pueden también, ser producto de actividades humanas como explosiones producto de la actividad minera y nuclear, extracción de hidrocarburos, generación eléctrica geotérmica entre otras. (CONCEPTO, 2021)

El peligro sísmico se define como la vulnerabilidad de las edificaciones durante un evento sísmico, en un periodo determinado de tiempo, en una determinada región, la misma se puede cuantificar a través de parámetros como aceleración, velocidad y desplazamientos medidos en el suelo. (NEC-SE-DS, 2015)

La normativa ecuatoriana de la construcción (NEC), describe en un su capítulo de peligro sísmico (NEC-SE-DS), un mapa de zonificación sísmica, el cual es el resultado de un estudio para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, y un periodo de retorno de 475 años. La zona sísmica nos permite determinar el factor Z, que representa la aceleración máxima efectiva en roca, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad. Dicho mapa de zonificación se clasifica en 6 zonas, que van desde una amenaza sísmica intermedia hasta muy alta.

Mediante el mapa de zonificación sísmica se puede apreciar que las zonas con mayor sismicidad, son las que se encuentran en la costa o litoral de nuestro país, en la cual ocurren sismos superficiales con una profundidad alrededor de los 60 kilómetros teniendo mayores repercusiones, mientras que la región amazónica es la que presenta una peligrosidad sísmica intermedia, en la cual los sismos ocurren a una profundidad alrededor de los 200 kilómetros, a su vez es la región Amazónica tiene la clasificación más baja de acuerdo al mapa de zonificación.

## **2.2 Origen de los sismos**

Los eventos sísmicos naturales son producto de fenómenos geológicos naturales, y que no es más que la liberación de energía acumulada en el subsuelo a través de ondas sísmicas que se disipan en la corteza terrestre, existen algunas teorías que explican el origen de los mismos, y se describen a continuación.

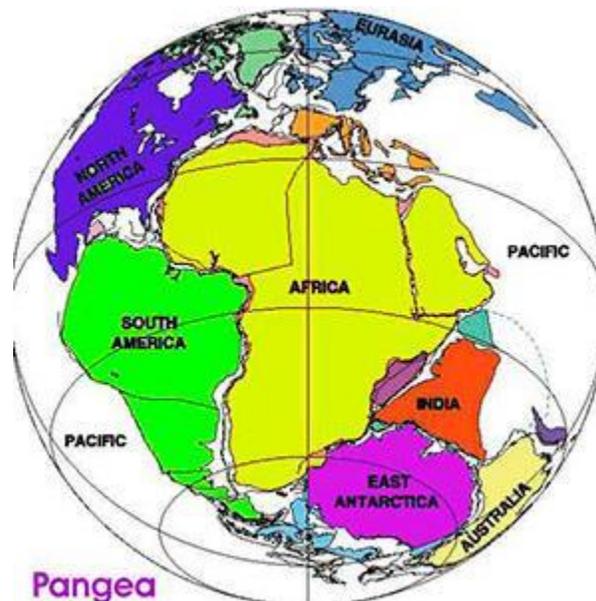
### ***2.2.1 Deriva continental***

Fue el astrónomo y meteorólogo Alfred Wegener en el año de 1912, quien propuso la teoría de que en un inicio existía un solo continente llamado Pangea, que luego sería dividido por la deriva continental, es decir las masas de tierra se irían separando una de la otra, durante el final del periodo Paleozoico, e inicios del periodo Mesozoico.

La teoría de la deriva continental sería sustentada por datos de la glaciación de Gondwana, en la que se encontró restos geológicos, como materiales encontrados en el hielo y signos de abrasión en rocas, que mostraron estar atrapadas en una masa de hielo, estos hallazgos fueron reportados en Sudamérica, Australia, África y la Antártida. Otros datos litológicos y paleontológicos contribuyen a la veracidad de esta teoría, pues se refieren a la distribución de rocas, minerales, yacimientos, plantas y animales (fósiles) que forman patrones en los continentes que se separaron y que han sido hallados en diferentes continentes. (UNAM, 2016)

## Figura 2

*Supercontinente Pangea.*



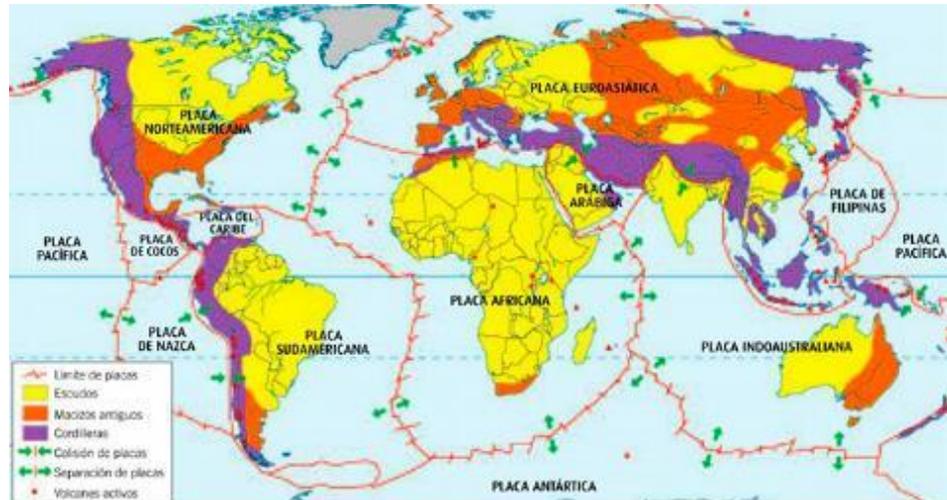
*Nota.* La figura muestra la representación de un solo continente sustentada por la teoría de la deriva continental. Fuente: (SGM, 2022)

### **2.2.2 Teoría de la tectónica de placas**

Esta teoría expone que la litosfera (capa más rígida y externa del planeta tierra) se encuentra fragmentada y flotando sobre la astenosfera que está compuesta de materiales sólidos y parcialmente fundidos; por lo cual, dichos fragmentos o placas, se desplazan por las corrientes de convección producto de las gradientes de temperatura y densidad. El desplazamiento de dichas placas, no es uniforme, existen zonas donde el movimiento es menor a un milímetro al año, mientras que otras zonas el movimiento puede superar los diez centímetros al año.

### Figura 3

Mapa de placas tectónicas.

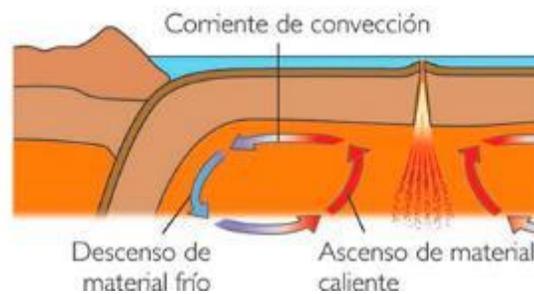


*Nota.* El mapa representa a través de colores las placas tectónicas y sus límites. Fuente: (SGM, 2017).

Los movimientos de las placas o fragmentos de la litosfera, en ocasiones colisionan y dan origen a formaciones como pliegues, montañas, volcanes y fallas geológicas; también, son el origen de los sismos, puesto que dicha colisión libera energía a través de ondas sísmicas en la corteza terrestre. (SGM, 2017)

### Figura 4

Corrientes de convección.



*Nota.* La figura muestra el movimiento de la astenosfera (capa parcialmente fundida del planeta), debido a la diferencia de temperatura y densidad. Fuente: (Lifeder, 2021).

### ***2.2.3 Cinturón de fuego del Pacífico***

El cinturón o anillo de fuego del pacífico, son regiones sísmicas ubicadas en torno al océano pacífico, tiene una extensión de 40.000 kilómetros, se ubica en el borde entre la placa del pacífico y las placas fronterizas de Norteamérica, Filipinas, de Cocos, de Nazca y de Juan de Fuca.

El cinturón de fuego del pacífico se extiende por varios países formando una especie de herradura. Su alta sismicidad se debe a que en esta zona se encuentran 9 placas tectónicas y alrededor de 452 volcanes, muchos de los cuales se encuentran activos, por lo que se registra aquí la actividad volcánica más alta del planeta, debido a lo antes mencionado, alrededor del 90 % de los sismos se originan en esta zona, alrededor de 300.000 sismos al año que pueden sentirse en la superficie terrestre. (CONCEPTO, 2023)

Debido a que nuestro país se encuentra dentro del cinturón de fuego del pacífico, la región Costa presenta mayor actividad sísmica, presentado sismos superficiales con una profundidad menor a 60 kilómetros, mientras que la región Amazónica presenta sismicidad moderada con sismos profundos de más de 300 kilómetros.

### **Figura 5**

*Cinturón de fuego del Pacífico*



*Nota.* La línea roja muestra el cinturón de fuego a través de las costas del océano Pacífico.

Fuente: (CONCEPTO, 2023).

## **2.3 Riesgo sísmico en Quito**

La ciudad de Quito ha experimentado sismos superficiales de intensidad alta, debido a que se encuentra situado en el valle interandino o cordilleras, los mismos muestra la gran actividad sísmica en una zona, puesto que son producto del movimiento de las placas tectónicas. El último sismo de gran magnitud que afecto a la ciudad se dio en el año 1868, el área habitada era de 4 kilómetros cuadrados, que albergaba a 45.000 habitantes.

Los registros muestran la actividad sísmica que ha experimentado la ciudad de Quito, desde 1541, los cuales tuvieron una intensidad mayor a 7 en la escala MSK. Existen registros de dos sismos que dañaron las construcciones de la época con mayor intensidad, las mismas era en su mayor parte de baja calidad y situados en terrenos empinados. Los sismos ocurrieron en Guayllabamba en el año de 1587, y en Quito en el año de 1859, y tuvieron una intensidad mayor a 8 en la escala MSK. (Alfonso, 2010)

### ***2.3.1 Sistema de fallas de Quito***

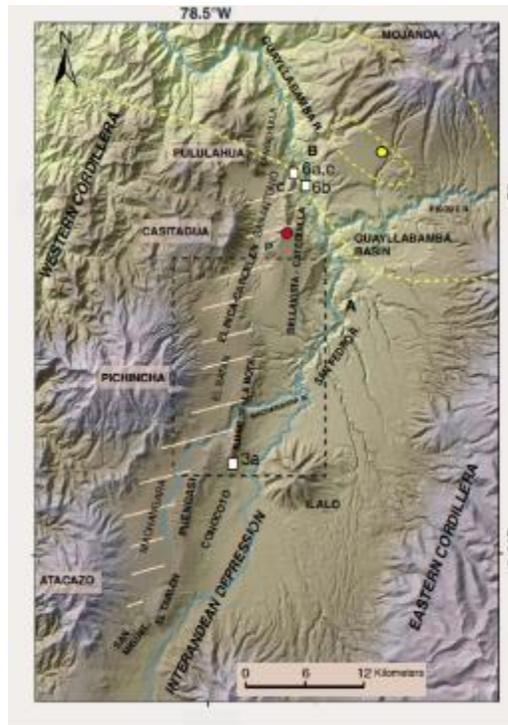
La ciudad de Quito se encuentra a 2800 metros sobre el nivel del mar, dentro de una zona sísmica y con una actividad volcánica alta. El sistema de fallas de Quito (QSF) se extiende por 60 kilómetros a lo largo del valle de la capital. De acuerdo con Instituto Geofísico EPN (2016) el sistema de fallas de Quito:

Corre al Este de la ciudad a lo largo de las pendientes que miran hacia los Valles de Tumbaco y los Chillos, colinas que marcan el borde oriental de la ciudad y que las conocemos como las lomas del Tablón frente a Amaguaña, Puengasí, Ilumbisí, El Batán, La Bota y Bellavista-Catequilla en el extremo Norte de la estructura pasando Calderón. (párr. 2)

Por lo que podemos mencionar que el peligro sísmico es alto, puesto que atraviesa toda la ciudad con zonas con una densidad poblacional alta.

### Figura 6

*Sistema de Fallas de Quito y Guayllabamba.*



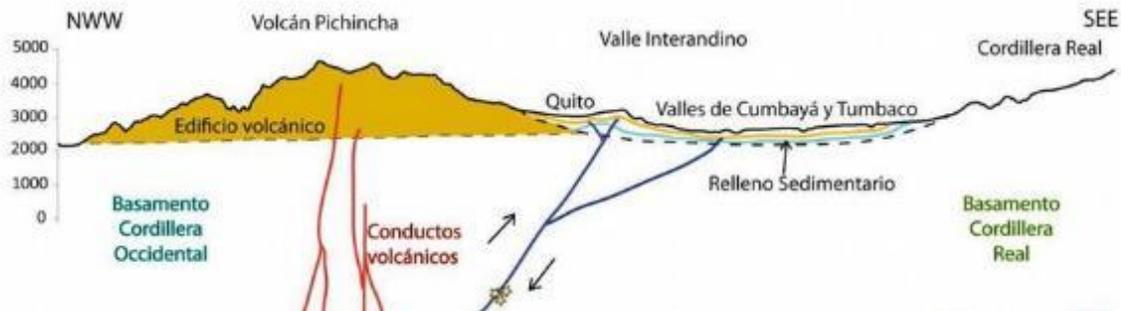
*Nota.* El mapa muestra la distribución geomorfológica del sistema de fallas de Quito.

Fuente: (Alvarado et al., 2014)

La ciudad de Quito se ubica sobre una falla inversa, es decir un bloque se desplaza con respecto a otro verticalmente, debido a esto la ciudad de Quito se encuentra desplazado 400 metros hacia arriba con respecto a los valles de Tumbaco y los Chillos, debido a las fuerzas de compresión tectónicas que empujan las placas desde el occidente. (Instituto Geofísico EPN, 2016)

## Figura 7

### Falla de sistema de Quito.



*Nota.* La imagen muestra el mecanismo de la falla de Quito. Fuente: (Instituto Geofísico EPN, 2016)

## 2.4 Sistemas estructurales

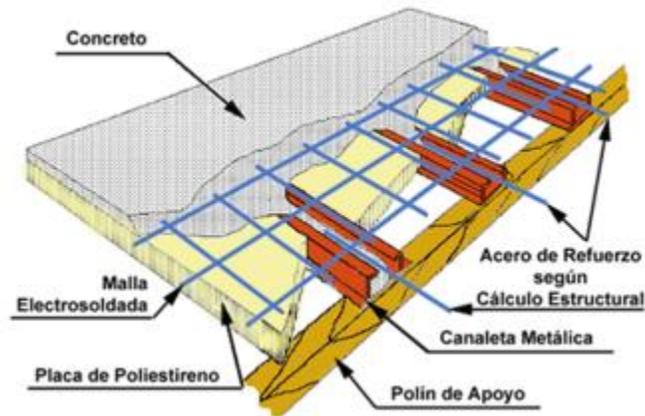
Un sistema estructural es el conjunto de elementos estructurales con propiedades mecánicas específicas, vinculados entre sí, que tiene como objetivo la transmisión de las cargas a la cimentación, producto de las solicitaciones para las cuales fueron diseñadas.

### 2.4.1 Sistema estructural a porticado constituido por columnas, losas y vigas banda.

Un sistema estructural a porticado consiste en la unión de vigas y columnas a través de nudos, los cuales van a resistir las cargas transmitidas de las losas, en este sistema estructural se conforman pórticos resistentes a momento flectores en ambas direcciones, no se considera la resistencia y rigidez que pueda aportar la mampostería, debido a que se encuentra desvinculada de la estructura.

## Figura 8

Losa de hormigón armado.



*Nota.* La figura muestra el armado de una losa de hormigón apoyada sobre vigas. Fuente: (Ingcivil, 2012)

En este sistema estructural las losas, que son elementos estructurales armados en dos direcciones transmiten las cargas hacia las vigas que se encuentran embebidas en la losa, y que posteriormente las transmitirán a las columnas y cimentación. Este tipo de vigas vistas desde la parte estructural no son la mejor alternativa, debido a que su altura es igual al de la losa en la que se encuentra embebida, por lo cual su resistencia baja y las deflexiones aumentan al reducirse la inercia; sin embargo, son muy utilizadas en la construcción informal, debido a la facilidad constructiva su armado y encofrado es más sencillo, también es muy usada por temas estéticos.

Las vigas banda por la reducción de su peralte, presenta mayores deflexiones, pues la misma está en función de la inercia y la longitud efectiva de la viga, este tipo de vigas para satisfacer el diseño a flexión deben incrementar la cantidad de acero, tanto para la zona de tracción como de compresión debido a la reducción del peralte, el bloque de compresión en la viga se reduce por lo cual necesita ser reforzado con acero para resistir a las cargas, se puede mencionar

también que se verá un incremento en acero de corte, pues su separación está dada por la expresión  $d/2$ , siendo del peralte de la viga.

### **Figura 9**

*Sistema estructural aporticado con vigas banda.*



*Nota.* La imagen muestra una losa reticular con vigas embebidas. Fuente: (OCRE, 2023)

#### ***2.4.2 Sistema estructural a porticado constituido por columnas, losas y vigas peraltadas.***

Este tipo de sistemas a porticados con vigas peraltadas nos permite cubrir mayores luces presentado menores deflexiones, pues por el peralte que es mayor al espesor de la losa, la inercia se ve incrementada reduciendo así la cantidad de acero a flexión con respecto a la sección de hormigón. Este tipo de vigas constructivamente requieren mayor tiempo en su armado y encofrado.

Una ventaja es que el punzonamiento y el corte excéntrico se reduce con la utilización de vigas peraltadas, las mismas también absorben parte de los momentos desequilibrantes a la columna. Este tipo de sistema estructural a dado muy buenos resultados, su comportamiento ante eventos sísmicos es bueno, pero se podría complementar con placas rigidizadores que reduzcan las derivas y el periodo de vibración.

## Figura 10

*Sistema estructural a porticado con vigas peraltadas.*



*Nota.* La imagen muestra una losa reticular con vigas peraltadas. Fuente: (Maxacero, 2023)

### **2.5 Patologías estructurales**

Las patologías estructurales son fallas o daños en los elementos estructurales de una edificación, que pueden comprometer la integridad estructural de la edificación. Estas patologías se detectan a través de procedimientos de estudio ordenados y detallados del comportamiento irregular de una edificación, debido a las cargas a las cuales están siendo solicitadas.

El estudio de las patologías se realiza a través de visitas técnicas a las edificaciones que están presentando un comportamiento inusual, la finalidad es recabar información acerca de los materiales, esfuerzos o cargas a las cuales está siendo sometida la estructura, como cargas gravitacionales o sísmicas, y encontrar la causa o motivo por el cual se están presentando fallas o daños y tomar medidas correctivas para mitigar efectos adversos en la estructura.

#### ***2.5.1 Irregularidad vertical***

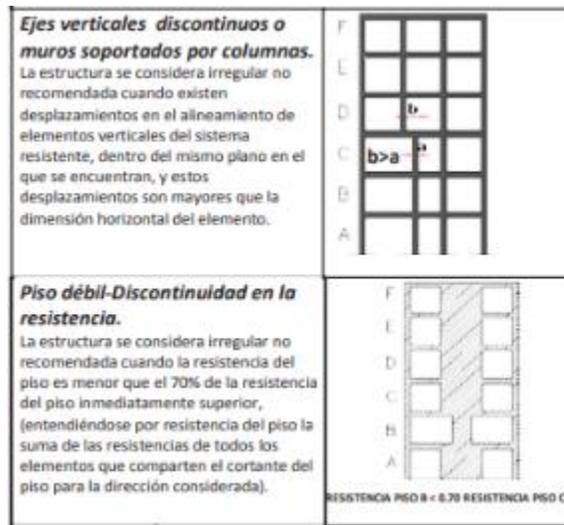
La irregularidad vertical se presenta en estructuras donde la concentración de masa varía en uno o más niveles, ocasionando cambios bruscos de resistencia en la estructura, haciendo que su comportamiento sea irregular durante un evento sísmico. Los ejemplos más comunes de este

tipo concentración de masa se da en sitios destinado al almacenaje como bodegas, cuarto de máquinas, estacionamientos, o pisos destinados a soportar una carga mayor como gimnasios y salas de eventos.

Este tipo de irregularidad es peligrosa debido a que entre mayor altura se de la concentración de masa el desplazamiento o derivas de piso serán más grandes, aumento el riesgo de volcamiento de la estructura. De acuerdo con la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC, se puede considerar irregular cuando la masa de cualquier piso sea mayor a 1.5 veces la de cualquier piso adyacente.

**Figura 11**

*Irregularidades verticales NEC -15.*



*Nota.* La figura muestra los tipos de irregularidad vertical en edificaciones. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

De acuerdo a la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, establecida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda nos menciona que las principales irregularidades verticales en nuestro país son: ejes verticales discontinuos. Piso débil o blando.

Columnas cortas o esbeltas. Vigas cortas. Distribución y concentración de masa. Piso flexible.  
Irregularidad geométrica. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

### **Figura 12**

*Irregularidad vertical o en elevación.*



*Nota.* Se puede apreciar en la figura irregularidad vertical de piso blando, producto de la reducción de la rigidez en el primer nivel. Fuente: (CYPE, 2020)

#### ***2.5.2 Irregularidad en planta***

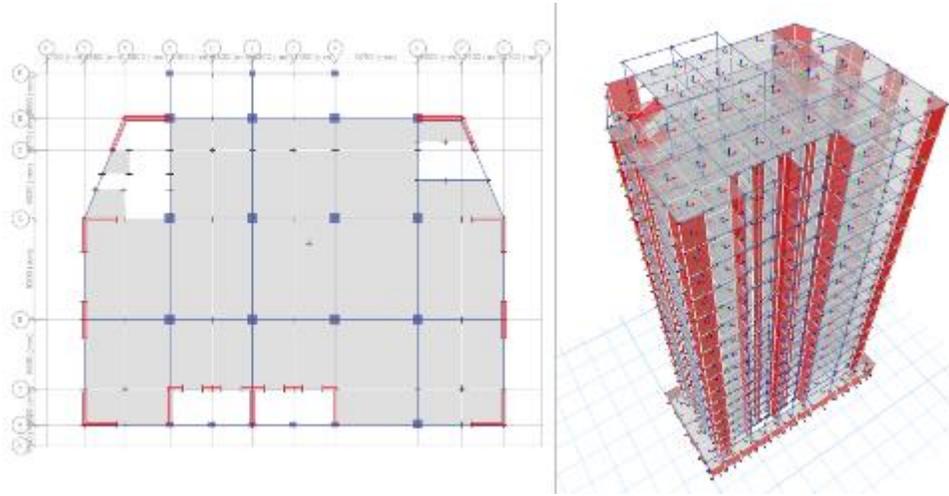
Las edificaciones presentan discontinuidades en su forma geométrica, presentan formas irregulares y muy complejas, muchas veces tratando de satisfacer las necesidades del proyecto, pero que influyen de manera significativa en el comportamiento de la estructura durante un evento sísmico, llegando a presentar irregularidad torsional.

La Normativa Ecuatoriana de la construcción recomienda que las estructuras sean lo más regular y simétricas posibles, priorizando las formas rectangulares, con la finalidad de tener un buen comportamiento estructural durante acción de las cargas solicitantes. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

La Normativa Ecuatoria de la Construcción (NEC), menciona tipos de irregularidad en planta, los cuales son, irregularidad torsional, retroceso excesivo en las esquinas, discontinuidad en el sistema de piso y ejes estructurales no paralelos.

### Figura 13

*Edificaciones con irregularidad en planta.*



*Nota.* Modelo de una estructura que presenta irregularidad en planta, tiene esquinas entrantes y ejes estructurales no paralelos. Elaborado por: El autor.

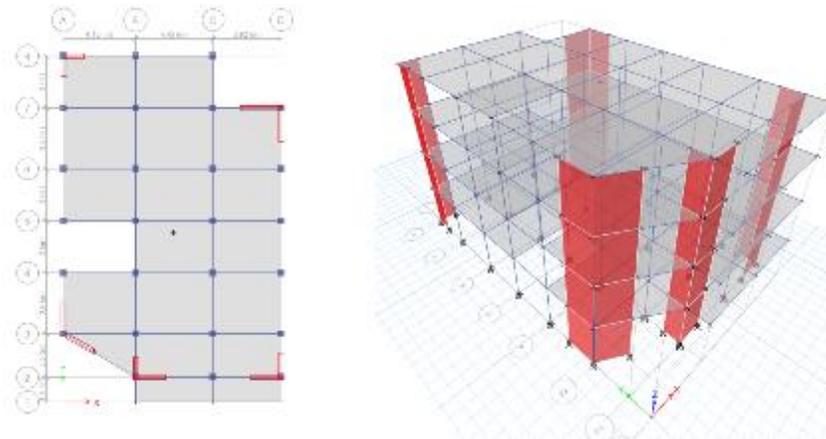
#### **2.5.3 Excesiva flexibilidad estructural**

La flexibilidad está asociada a la deformación que puede sufrir un elemento estructural, es decir que cuanto más sea flexible una estructura, va a sufrir deformaciones laterales mayores, generando mayor inestabilidad de la estructura. Es tipo de irregularidad se da por la separación excesiva entre elementos estructurales. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

Se puede rigidizar la estructura a través de una mayor cantidad de columnas, vigas de mayor dimensión, placas o muros de corte o núcleos, que tendrán como objetivo principal reducir las deformaciones o derivas en la edificación, logrando cumplir con criterios y ductilidad de los elementos estructurales mencionados.

## Figura 14

*Sistema estructural dual.*



*Nota.* Se muestra un modelo estructural, compuesto por columnas, vigas, losas y muros de corte, que rigidizan la estructura y reduce los desplazamientos. Elaborado por: EL autor.

### ***2.5.4 Excesiva flexibilidad de piso***

Las losas son elementos estructurales armado en dos direcciones cuyo objetivo es la transmisión de cargas hacia las vigas en el borde de tablero, estos elementos se consideran infinitamente rígidos axialmente, cuando existen irregularidades en estos elementos horizontales, tienden a presentar deformaciones no uniformes en los laterales, chocando con elementos no estructurales como mampostería y generando daño en dichos elementos. (NEC-SE-DS, 2015)

### **2.6 Diseño sismorresistente**

El diseño sismorresistente tiene como objetivo, diseñar estructuras que tenga un buen comportamiento ante un evento sísmico, siguiendo criterios de ductilidad en sus elementos no estructurales con la finalidad de evitar el colapso de la estructura y salvaguardando la vida de sus ocupantes. Nuestro país por su ubicación geográfica tiene una alta actividad sísmica, por lo cual un el diseño sísmico busca mitigar los efectos adversos ante un sismo, las estructuras deben ser

capaces de disipar de manera segura la mayor cantidad de energía, haciéndolas seguras para sus ocupantes, evitando pérdidas económicas y humanas.

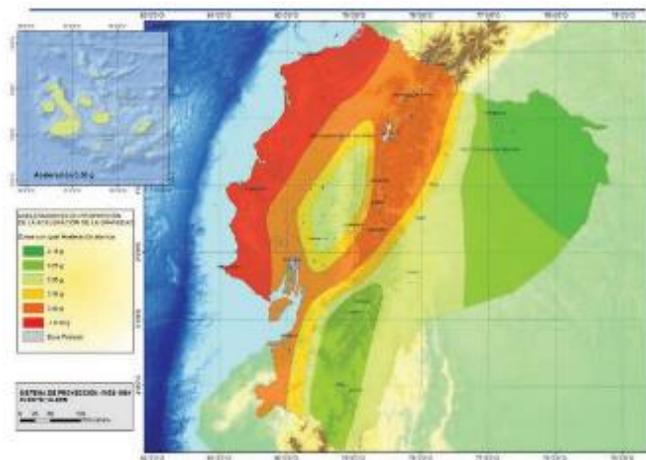
### 2.6.1 Zonificación sísmica

El Ecuador es un país con alta sismicidad, para efectos de diseño se debe considerar la influencia de los mismos, para ello la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en su capítulo de peligro sísmico incluye un mapa de zonificación el cual proporciona información acerca del riesgo sísmico de acuerdo a la zona o lugar que va a ser objeto de estudio.

Con el mapa de zonificación sísmica se puede determinar el coeficiente de zona  $Z$ , que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, este valor se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad. El mapa de zonificación sísmica es el resultado de un estudio de peligro sísmico que tiene un 10% de excedencia y periodo de retorno de 475 años, el mapa clasifica 6 zonas que varían desde un peligro sísmico intermedio hasta muy alto. (NEC-SE-DS, 2015)

### Figura 15

*Mapa de zonificación sísmica.*



*Nota.* El mapa clasifica a través de colores la zona sísmica que será objeto de estudio, para propósitos de diseño. (NEC-SE-DS, 2015)

Los valores obtenidos a través del mapa de zonificación, pueden ser ambiguos debido a que pueden presentar variación sobre todo el límite de las zonas sísmicas, por ellos la NEC incorpora los apéndices 10.1 y 10.3 en los cuales nos otorga los valores del factor de zona Z de acuerdo a distintas localidades que serán objeto de estudio.

A continuación, se muestra la tabla de caracterización del peligro sísmico en la cual podemos encontrar los valores para el factor de zona Z.

**Tabla 1**

*Factores de zona Z.*

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Nota.* La tabla muestra los valores del factor de zona Z en base a la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

### ***2.6.2 Geología local perfiles del suelo***

Para el diseño sismo resistente se debe conocer el suelo sobre el cual estará implantada la edificación, pues debe tener en cuenta la influencia de amplificación del suelo ante evento sísmico. La normativa específica 6 tipos de suelo A, B, C, D, E y F, los mismos se clasifican de acuerdo a los estratos encontrados a una profundidad de 30 metros.

**Tabla 2**

*Tipos de perfiles de suelos.*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100$ kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

*Nota.* Se muestra los diferentes perfiles de suelo, su descripción y parámetros de clasificación. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

### 2.6.3 Coeficientes de amplificación del suelo

Los coeficientes de amplificación del suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , se describen a continuación en tablas las cuales están en función del tipo de suelo desde el A hasta el E y la zona sísmica que será objeto de estudio. El suelo tipo F no se encuentra definido en estas tablas debido a que requiere un estudio más detallado.

#### 2.6.3.1 Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de periodo corto $F_a$

**Tabla 3**

*Factores de amplificación del suelo  $F_a$ .*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

*Nota.* Se muestra los valores del coeficiente  $F_a$  en función del tipo de suelo y la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

#### 2.6.3.2 Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca $F_d$

**Tabla 4***Coefficiente de amplificación del suelo Fd.*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota.* La tabla muestra los valores del coeficiente Fd en función del tipo de suelo y la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

### 2.6.3.3 Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos Fs

**Tabla 5***Coefficiente de amplificación del suelo Fs.*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota.* La tabla muestra los valores del coeficiente Fs en función del tipo de suelo y la zona sísmica. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

#### 2.6.4 Microzonificación sísmica y geotécnica

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS (2015):

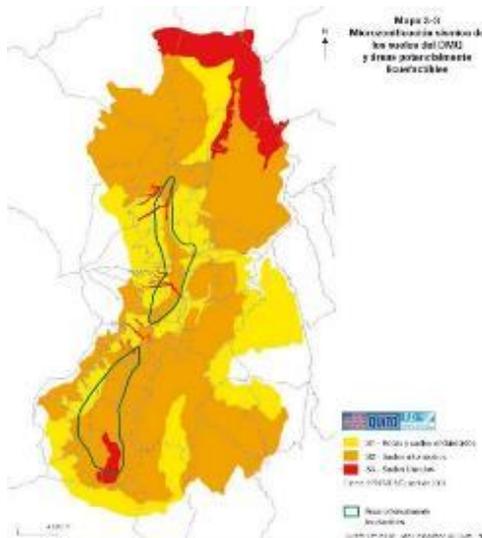
Para poblaciones con más de 100.000 habitantes y sitios con suelos tipo F se realizará espectro de respuesta elástico de aceleraciones específico al sitio, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local. (p. 32)

Esto indica que un estudio de microzonificación del suelo es necesario, puesto que describe con mayor precisión el comportamiento del suelo ante un evento sísmico.

Los primeros estudios de microzonificación del suelo fueron realizados por parte de la Escuela Politécnica Nacional en el año de 1984, otros estudios de microzonificación se han realizado por la necesidad de conocer el tipo de suelo sobre el cual se ejecutará un proyecto como lo es el metro de Quito, el cual se realizó en el año 2011, este estudio tuvo información importante de los suelos de hasta 50 metros de profundidad.

#### Figura 16

*Microzonificación de los suelos de Quito.*



*Nota.* El mapa muestra tres zonas resultantes del estudio de microzonificación. Fuente: (MapaOwje, 2013)

## ***2.6.5 Componentes horizontales de la carga sísmica***

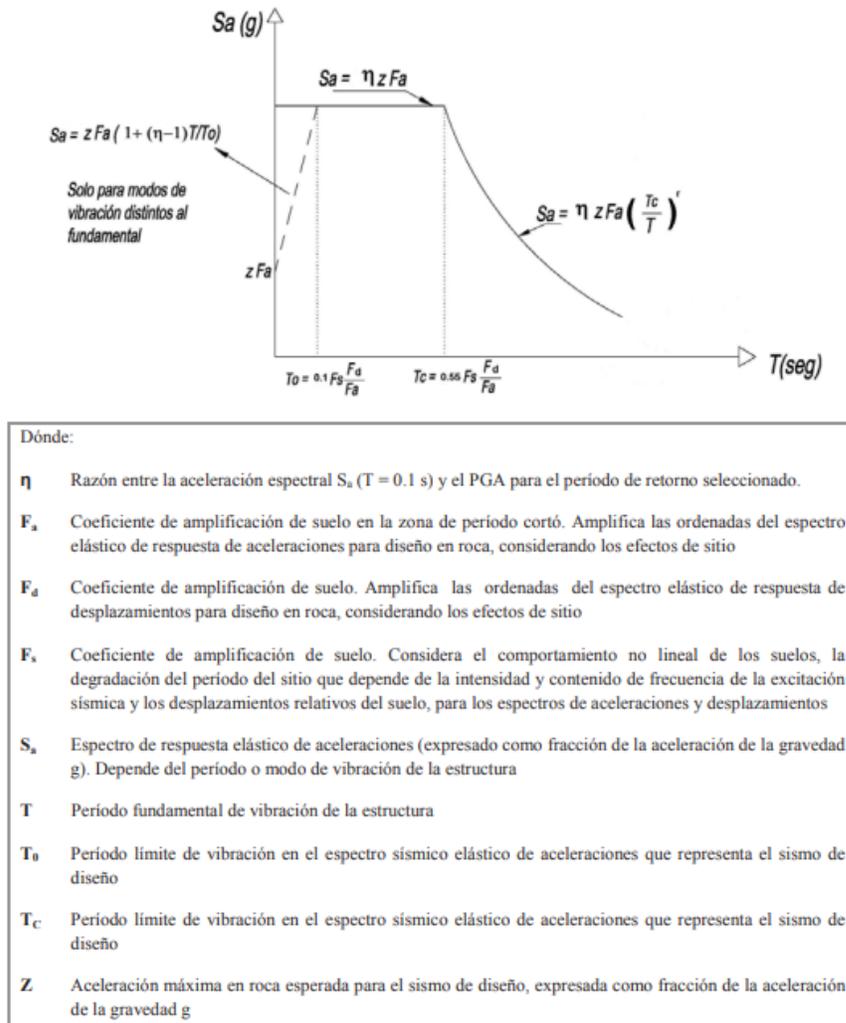
### **2.6.5.1 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones**

El espectro elástico de diseño se construye a partir de los espectros de respuesta propuestos para el análisis dinámico, los mismos son calculados para un sitio en particular, para todos los eventos sísmicos que puedan ocurrir, por lo mismo la gráfica del espectro de diseño debe estar por encima de las gráficas del espectro de respuesta, que es la gráfica del comportamiento de la estructura ante la vibración del suelo.

Para la elaboración del espectro de diseño se caracteriza el tipo de estructura y suelo, en base a esto se determinará los periodos de vibración largos y cortos con los que se construirá la gráfica, que considera los valores más alto de aceleración, velocidad y desplazamiento. La construcción de la gráfica se realiza colocando los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento en el eje de las ordenadas, mientras que el periodo de vibración se colocará en las abscisas, se considera un amortiguamiento de la estructura ( $\xi$ ) correspondiente al 5%, este amortiguamiento relaciona la estructura y la estratigrafía del lugar, en caso de que se requiera idealizar otros valores de amortiguamiento crítico como 1% 2% 5% o 10% se realizar a partir de espectros de respuesta para cada uno de los amortiguamientos. (Paz, 2012)

**Figura 17**

*Espectro elástico horizontal de diseño NEC-SE-DS 2015.*

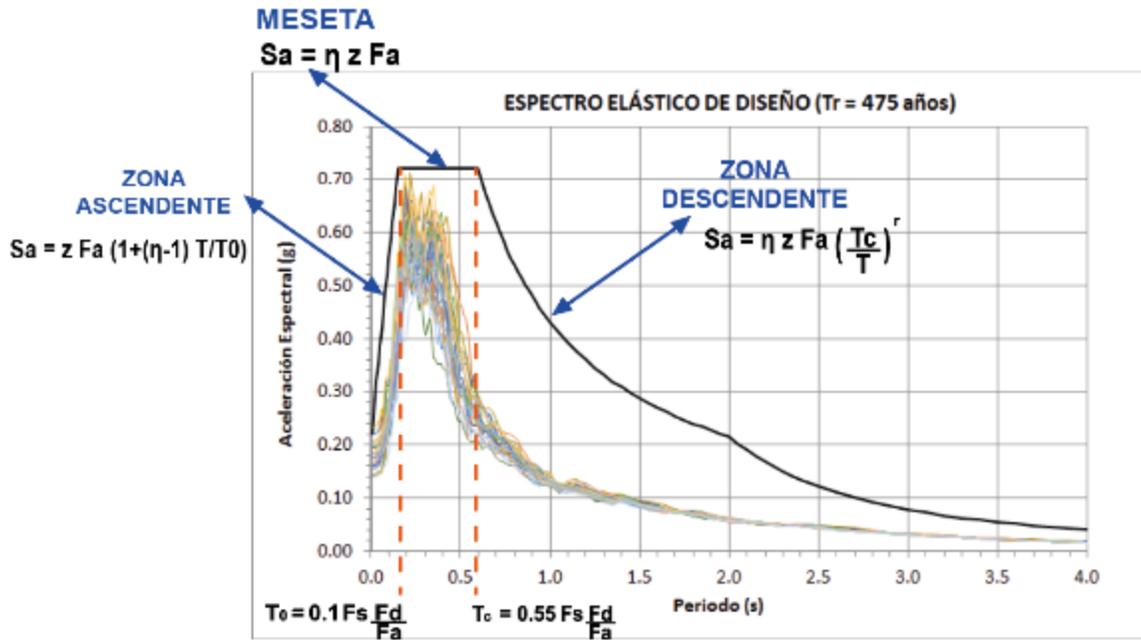


*Nota.* La figura muestra el espectro de diseño elástico, y los parámetros para su construcción. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

Para la construcción del espectro de diseño se usan diferentes coeficientes, dependiendo de la parte del espectro de diseño, la cual consta de tres partes, una zona ascendente, una meseta y zona descendente. La misma está dividida por los periodos de vibración cortos y largos  $T_0$  y  $T_c$  correspondientemente.

**Figura 18**

*Espectro elástico de Diseño.*



*Nota.* La figura muestra las zonas del espectro de diseño de acuerdo a los periodos de vibración. Elaborado por: El autor basado en (Grado 7, 2020)

**Tabla 6**

*Ecuaciones del espectro elástico de diseño.*

ZONA DEL ESPECTRO	ECUACIÓN
ASCENDENTE	$Sa = z * Fa * ( 1 + ( n - 1 ) * T/T0$
MESETA	$Sa = n * z * Fa$
DESCENDENTE	$Sa = n * z * Fa * \left( \frac{Tc}{T} \right)^r$

*Nota.* La tabla muestra las ecuaciones del espectro de diseño de acuerdo a la zona en la que se encuentre. Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 7***Zonas del espectro de diseño elástico.*

<b>Zona del espectro</b>	<b>Límites</b>
Ascendente	$T < T_0$
Meseta	$0 < T < T_c$
Descenso	$T > T_c$
<b>Expresiones para el cálculo de los periodos de vibración</b>	
$T_0$	$0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$
$T_c$	$0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$
$T$	Periodo obtenido del análisis estructural

*Nota.* La figura muestra los límites del espectro de diseño en base al periodo de vibración.

Elaborado por: El autor basado en (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 8***Factor  $\eta$ .*

<b>Factor <math>\eta</math></b>	<b>Provincia</b>
$\eta = 1.80$	<b>Provincias de la Costa ( excepto Esmeraldas)</b>
$\eta = 1.80$	<b>Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos</b>
$\eta = 1.80$	<b>Provincias del Oriente</b>

*Nota.* La tabla muestra los valores del factor  $\eta$ , de acuerdo a la provincia objeto de estudio.

Elaborador por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 9**

*Factor r.*

<b>Factor r</b>	<b>Tipo de suelo</b>
<b>r = 1</b>	<b>Para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.</b>
<b>r = 1.5</b>	<b>Para tipo de suelo E.</b>

*Nota.* La tabla muestra los valores del factor r de acuerdo al tipo de suelo sobre el cual estará la edificación. Elaborador por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

A continuación, se describen los factores que intervienen en la construcción del espectro de diseño:

- Sa Espectro de diseño elástico expresado como una fracción de la aceleración de la gravedad.
- Fa Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó.
- Fd Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- Fs Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.
- $\eta$  Razón entre la aceleración espectral Sa ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- r Factor usado en el diseño del espectro elástico.

- z Factor de zona sísmica.
- T Período fundamental de vibración de la estructura.
- Tc Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

### 2.6.5.2 Período fundamental de vibración T

De acuerdo con Paz (2012) el periodo de vibración es, “El tiempo para una oscilación completa (ciclo) de un cuerpo elástico, vibrando en un modo dado de vibración libre” (p. XVII). La NEC-15 propone dos métodos de cálculo para el periodo de vibración de la estructura, los valores obtenidos son referenciales, pero pueden ser usados para el cálculo de las fuerzas sísmicas que se aplicarán a la estructura. (NEC-SE-DS, 2015)

El cálculo del periodo de vibración a través del método 1 se describe a continuación.

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

- $C_t$  Coeficiente que depende del tipo de edificación.
- $\alpha$  Coeficiente que depende del tipo de edificación.
- $h_n$  Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura.
- T Período de vibración.

Los valores de los coeficientes  $C_t$  y  $\alpha$ , están propuesto en la NEC-15 y están relacionados con el tipo de estructura ya sean estas en acero u hormigón, los valores se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 10**

Coeficientes  $C_t$  y  $\alpha$ .

<b>Tipo de Estructura</b>	<b><math>C_t</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>
<b><i>Estructuras de Acero</i></b>		
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramiento	0.073	0.75
<b><i>Pórticos especiales de hormigón armado</i></b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

*Nota.* Los valores de  $C_t$  y  $\alpha$ , se establecen de acuerdo al tipo de edificación que se esté analizando. Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

### ***2.6.6 Metodología del diseño sismorresistente***

Una vez realizado el espectro elástico de diseño, se determinará ciertos parámetros definidos a través de coeficientes con los cuales se evaluará y realizará el diseño de la edificación.

#### **2.6.6.1 Coeficientes de importancia de la edificación I**

El coeficiente de tipo de uso, destino e importancia, clasifica a las estructuras en tres grupos, edificaciones esenciales, estructuras de ocupación especial y otras estructuras, con la final de incrementar la carga sísmica de diseño, ya que por su uso deben permanecer operativas o mitigar los daños durante y después de un evento sísmico. La normativa NEC-15 nos permite determinar las fuerzas sísmicas a través de las curvas de peligro sísmico, las mismas se encuentran en su capítulo de peligro sísmico en este caso, de acuerdo con la NEC-SE-DS (2015); “Al determinar las fuerzas a partir de las curvas de peligro sísmico, dichas fuerzas no requieren ser modificadas por el factor de importancia I” (p. 39).

**Tabla 11**

*Factor de importancia I.*

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
<b>Edificaciones esenciales</b>	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
<b>Estructuras de ocupación especial</b>	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
<b>Otras estructuras</b>	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

*Nota.* El cuadro muestra la categorización de las estructuras de acuerdo al tipo de uso, destino e importancia y su coeficiente de importancia respectivo. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

En el caso de usar el coeficiente de importancia I, las estructuras que tengan valores iguales a 1 deberán cumplir con los requerimientos de diseño establecidos en la norma; sin embargo, en el caso de estructuras con valores superiores a 1 se deberá cumplir con los parámetros que se mencionaran más adelante.

#### **2.6.6.2 Filosofía de diseño**

El objetivo primordial es salvaguardar la vida de los ocupantes de una edificación, durante un evento sísmico, de acuerdo con la NEC -15 (2014) “la filosofía de diseño permite comprobar el nivel de seguridad de vida” (p. 40). Para el diseño estructural se considera un evento sísmico con una probabilidad de excedencia del 10% y un periodo de retorno de 475 años.

Para el diseño sísmico se considera la acción de las cargas sísmicas a partir de un sismo de diseño inelástico, para lo cual se considera la ubicación del proyecto en el mapa de zonificación sísmica. Se puede considerar los efectos de las cargas dinámicas a través de espectros de respuesta,

que serán caracterizados mediante acelerogramas que tendrán propiedades geotécnicas del sitio. (NEC-SE-DS, 2015)

Las estructuras deben cumplir con ciertos requisitos mínimos de diseño con la finalidad de evitar, reducir y mitigar efectos adversos como pérdidas humanas o económicas, los objetivos de diseño establecidos en la NEC-15 se mencionan en la Tabla 13, que se muestra a continuación.

**Tabla 12**

*Objetivos de diseño NEC-15.*

<b>Tipo de Terremoto</b>	<b>Objetivo de Diseño</b>
Pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.	Prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales.
Moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.	Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales.
Severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura.	Evitar el colapso, procurando salvaguardar a vida de sus ocupantes.

*Nota.* Los objetivos mencionados en la tabla corresponden a eventos sísmicos de diferentes características. Elaborado por: El autor basado en (NEC-SE-DS, 2015)

Para el cumplimiento de los objetivos y filosofía de diseño la NEC-SE-DS (2015), establece que los mismos se alcanzan mediante el diseño de estructuras que:

Tengan la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por esta norma. Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles. Pueda disipar energía de deformación inelástica, haciendo uso de las técnicas de diseño por capacidad o mediante la utilización de dispositivos de control sísmico. (p. 40)

### 2.6.6.3 Límites permisibles de las derivas de los pisos

Las derivas de piso son desplazamientos horizontales relativos entre un nivel superior e inferior de la estructura, inducidos por una carga lateral como la de los sismos. Estos desplazamientos laterales generan daños en la estructura, y están directamente relacionados con la rigidez de la estructura; es decir, cuanto más rígida sea la estructura menor será el desplazamiento en la misma.

Las derivas máximas permitidas de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) son el 2%. Estructuras que presenten derivas mayores a la mencionada sufrirán daños considerables en sus elementos estructurales, por lo cual posiblemente se deberá reforzar.

**Tabla 13**

*Derivas máximas permitidas NEC-15.*

<b>Estructuras de:</b>	<b><math>\Delta M</math> máxima</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

*Nota.* La tabla muestra las derivas máximas permitidas expresadas como una fracción de la altura de piso, de acuerdo al tipo de estructura. Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

### 2.6.6.4 Configuración estructural

Las estructuras deben priorizar el diseño estructural a partir de una distribución geométrica regular, que garantice un buen comportamiento y un desempeño sísmico adecuado, esto con el fin de evitar generar una concentración de esfuerzos en ciertos elementos de la estructura.

**Tabla 14**

*Configuraciones estructurales.*

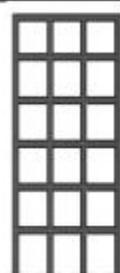
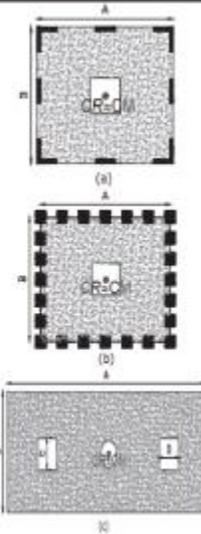
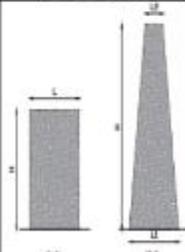
<b>Regularidad/ configuración estructural</b>	
<b>Configuraciones Estructurales Recomendadas</b>	Diseñadores arquitectónicos y estructurales procuraran que la configuración de la estructura sea simple y regular para lograr un adecuado desempeño sísmico.
<b>Configuraciones Estructurales a evitar</b>	Cambios abruptos de rigidez y resistencia deben evitarse con el fin de impedir acumulación de daño en algunos componentes en desmedro de la ductilidad global del sistema y por lo tanto no se recomiendan.

*Nota.* La tabla muestra información de la configuración estructural que debe primar en una edificación. Elaborado por: El autor basado en (NEC-SE-DS, 2015)

A continuación, se muestra configuraciones estructurales recomendadas y las que deben evitarse de acuerdo con la NEC-15 con el fin de garantizar un buen desempeño sísmico.

**Tabla 15**

*Configuraciones estructurales recomendadas.*

CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN $\phi_E=1$		CONFIGURACIÓN EN PLANTA $\phi_P=1$	
<p>La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aporticados, es constante en todos los niveles.</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi_E=1</math></p>		<p>La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa.</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi_P=1</math></p>	
<p>La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional.</p> <p style="text-align: center;"><math>\phi_E=1</math></p>			

Nota. Se muestra sistemas estructurales geoméricamente regulares. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 16**

*Configuraciones estructurales no recomendadas.*

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p><b>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p>		<p><b>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</b></p> <p>Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>
<p><b>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>		
<p><b>Columna corta</b> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>		

Nota. Las configuraciones estructurales mostradas, muestran irregularidad geométrica y discontinuidad de los elementos estructurales. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

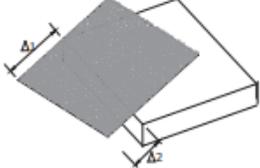
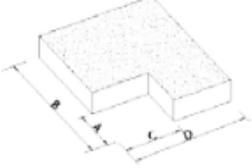
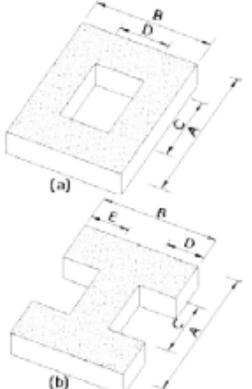
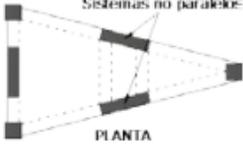
### 2.6.6.5 Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

La irregularidad tanto en planta como en elevación penalizan a la estructura debido a que alteran el comportamiento de la edificación haciéndolo deficiente, por lo cual se utilizan factores de irregularidad en planta y elevación que aumentan el valor de la cortante de diseño; sin embargo,

no favorecen al comportamiento de la estructura, por lo mencionado se deben evitar la presencia de irregularidades que muestran a continuación. (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 17**

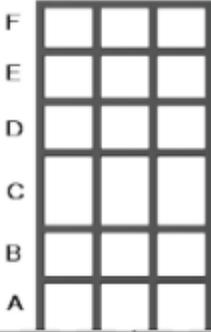
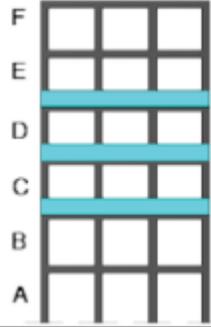
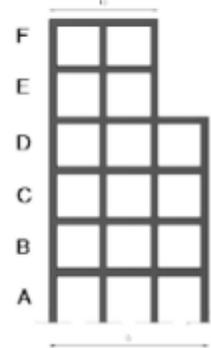
*Coficiente de irregularidad en planta  $\phi_p$ .*

<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_p=0.9</math>  <math>\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}</math></p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas</b> <math>\phi_p=0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso</b>  <math>\phi_p=0.9</math>  a) <math>CxD &gt; 0.5Ax B</math>  b) <math>[CxD + CxE] &gt; 0.5Ax B</math></p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p><b>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos</b>  <math>\phi_p=0.9</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Nota. La muestran casos de irregularidad en planta, y el cálculo del coeficiente de irregularidad en planta de acuerdo al caso. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 18**

*Coeficiente de irregularidad en elevación  $\phi_e$ .*

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_{ir}=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  <math>Rigidez &lt; 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_{ir}=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_{ir}=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	

Nota. En la tabla se muestran las configuraciones estructurales que se deben evitar, así como el cálculo del coeficiente de irregularidad en elevación. Fuente: (NEC-SE-DS, 2015)

### 2.6.7 Diseño basado en fuerzas (DBF)

El método de diseño sísmico basado en fuerzas pretende diseñar estructuras que sean capaces de resistir las fuerzas horizontales actuantes, las cuales no actuarán de manera concurrente

en cada uno de los ejes de la edificación. De acuerdo con la NEC-SE-DS (2015) establece ciertas limitante para el diseño basado en fuerzas:

Utiliza factores de reducción de resistencia sísmica  $R$  constantes para cada tipología estructural, lo cual implica que la demanda de ductilidad y la sobre resistencia son iguales para todos los edificios dentro de una misma categoría, asumiendo también que  $R$  no cambia con el período y tipo de suelo. Supone que la rigidez es independiente de la resistencia, es decir que la rigidez y el período pueden estimarse antes de que se conozca el refuerzo de las secciones de hormigón armado o el espesor final de las placas de los elementos de acero. (p. 53)

El procedimiento de análisis a través del método DBF se menciona a continuación de acuerdo a lo establecido en la NEC-SE-DS (2015):

Determinación del espectro de diseño  $S_a(T)$ . Cálculo aproximado del periodo de vibración  $T_a$ . Determinación del cortante de base  $V$  con los resultados de los pasos anteriores. Determinación de las distribuciones vertical y horizontal de  $V$ . Dirección de aplicación de estas fuerzas sísmicas y verificación de que los índices de deriva no sobrepasen el valor permitido. (pp. 60-61)

El procedimiento menciona el uso de la cortante basal de diseño  $V$  estático determinado de manera manual, el cálculo de la misma se mostrará más adelante.

#### **2.6.7.1 Carga sísmica reactiva $W$**

Es la carga correspondiente a la carga muerta de la edificación reactiva por un evento sísmico, para efecto de cálculo la carga reactiva puede variar de acuerdo con el uso u ocupación que se le va a dar a la edificación.

Para casos generales se tiene que la carga reactiva es:

$$W = D$$

Donde:

D Carga muerta total la estructura.

Para casos especiales como bodegas y almacenaje, que concentren mucha carga viva se usara la siguiente expresión:

$$W = D + 0.25 L_i$$

Donde:

D Carga muerta total de la estructura.

Li Carga viva del piso o nivel i.

#### **2.6.7.2 Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R**

La ductilidad en un material, es la capacidad de incursionar en el rango inelástico sin sufrir una pérdida importante de sus propiedades mecánicas. El concepto de ductilidad y el factor de reducción de resistencia sísmica R están ligados, por un lado, el factor de reducción sísmica R, permite reducir considerablemente la ordena del espectro de diseño elástico, siempre y cuando la estructura tenga un adecuado comportamiento inelástico durante un evento sísmico, solo suficiente como para impedir el colapso de la misma. (NEC-SE-DS, 2015)

El factor de reducción sísmica se elige en base a ciertas variables como, el tipo de estructura, el tipo de suelo, el periodo de vibración y propiedades de resistencia, amortiguamiento y redundancia de una estructura en condiciones límites, la NEC-15 clasifica las estructuras en dos grupos, en sistemas estructurales dúctiles y sistemas estructurales de ductilidad limitada, esto en base al sistema estructural usado para el diseño.

**Tabla 19**

*Factor de reducción sísmica R para sistema estructurales dúctiles.*

<b>Sistemas Estructurales Dúctiles</b>	<b>R</b>
<b><i>Sistemas Duales</i></b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	<b>8</b>
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	<b>8</b>
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	<b>8</b>
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	<b>7</b>
<b><i>Pórticos resistentes a momentos</i></b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	<b>8</b>
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	<b>8</b>
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	<b>8</b>
<b><i>Otros sistemas estructurales para edificaciones</i></b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	<b>5</b>
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	<b>5</b>

*Nota.* La table lista varios sistemas estructurales, con el valor respectivo para el coeficiente

R. Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

**Tabla 20**

*Factor de reducción sísmica R para sistemas estructurales de ductilidad limitada.*

<b>Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada</b>	<b>R</b>
<b><i>Porticos resistentes a momento</i></b>	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	<b>3</b>
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia.	<b>2.5</b>
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	<b>2.5</b>
<b><i>Muros estructurales portantes</i></b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	<b>1</b>
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	<b>3</b>
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	<b>3</b>
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	<b>3</b>

*Nota.* La table muestra varios sistemas estructurales, con el valor correspondiente al factor

R. Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-DS, 2015)

### **2.6.7.3 Cortante basal de diseño**

El cortante basal es la acumulación de la carga lateral que se distribuye a lo largo de la altura de la edificación, la fuerza cortante de cada piso se ve reflejada en la base de la estructura.

Para el cálculo de la cortante basal la NEC-SE-DF establece la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

Donde:

$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración.
$\Phi_p$ y $\phi_e$	Coefficientes de configuración en planta y elevación.
I	Coefficiente de importancia.
R	Factor de reducción de resistencia sísmica.
V	Cortante basal de diseño.
W	Carga sísmica reactiva.
$T_a$	Periodo de vibración.

#### **2.6.7.4 Distribución vertical de las fuerzas sísmicas**

La distribución de la carga lateral se lo realiza de manera lineal, debe distribuirse en función de la masa y se puede aplicar en cualquier dirección horizontal a la estructura.

#### **2.6.7.5 Control de derivas de piso**

El control de derivas se realizará a partir del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso, los valores máximos están establecidos tomando como consideración que las secciones están agrietadas. Se usará la respuesta máxima inelástica en desplazamientos de la estructura para la revisión de las derivas de piso, se realizará un análisis elástico de la estructura sometido a las fuerzas horizontales para obtener las derivas en cada piso.

Para el cálculo de las derivas de piso se deben tener algunas consideraciones, de acuerdo con NEC-SE-DS (2015), el cálculo de las derivas de piso incluirá “Las deflexiones debidas a efectos traslacionales y torsionales; los efectos de segundo orden P- $\Delta$ ” (p. 69).

La deriva inelástica  $\Delta_m$  se calculará para cada piso con la siguiente expresión:

$$\Delta_m = 0.75 R \Delta_E$$

Donde:

$\Delta_m$  Deriva máxima inelástica.

$\Delta_E$  Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R Factor de reducción de resistencia sísmica.

Se debe verificar que las derivas máximas de piso cumplen con el establecido en la Tabla 14, anteriormente mencionada.

## **2.7 Evaluación y rehabilitación**

El Ecuador se encuentra en una zona de alta sismicidad, por ello hay una alta probabilidad de que las edificaciones sufran daños a lo largo de su vida útil, producto de un evento sísmico, la respuesta dinámica como los daños que sufren los elementos estructurales depende de las características de acción sísmica y del comportamiento de todos los elementos estructurales en conjunto.

En nuestro país la construcción informal no cumple con los requisitos mínimos de calidad y seguridad, la ausencia de estos, se traduce en daños graves o colapso de las estructuras ante un sismo severo, esto debido a la baja resistencia de los materiales, la baja ductilidad y la irregularidad de su configuración estructural en planta y elevación. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

El ministerio de desarrollo Urbano y Vivienda establece el proceso de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, en su manual de procedimiento administrativo y técnico para la evaluación de las edificaciones, él mismo describe los pasos y procedimiento que se deben ejecutar dependiendo del tipo de estructura, y el nivel de vulnerabilidad obtenido a través de procedimientos normados como la inspección visual rápida establecida en el Fema 154. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

## **2.8 Evaluación sísmica de estructuras existentes pre evento**

Este tipo de evaluaciones nos brinda una idea general, de cuál es el estado de una edificación, para ello no usa métodos tradicionales de análisis estructural. Este tipo de evaluaciones se basan en la obtención de un puntaje que se otorgará a través de llenar un formulario en el cual contiene información acerca de la edificación que van a evaluar, los procesos constan identificar posibles patologías estructurales que pueda presentar la edificación, la geometría, el tipo de suelo sobre el cual se encuentra edificado, etc.

La norma ecuatoriana de la construcción propone en su capítulo de RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS una metodología de evaluación de riesgo sísmico en edificios, el cual aremos uso para este estudio.

## **2.9 Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras existentes Pre evento**

Este proceso de evaluación rápida de peligro sísmico en conformidad de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, tomo como base el FEMA 154 que fue desarrollado por profesionales de la construcción, el método consiste en un proceso estandarizado de evaluación que clasifica la vulnerabilidad de la edificación en tres categorías, vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta, siendo la última la que requiere un análisis más exhaustivo y detallado.

Para la realizar la evaluación, lo único que se necesita es que un profesional realiza una visita técnica a la edificación a evaluar, a medida que se procede con la inspección se irá llenando los formularios de acuerdo a la categoría a la que pertenezca. Este procedimiento de análisis requiere identificar el tipo de estructura, recopilar la información en el formulario, la visita puede durar entre 30 minutos y 60 minutos. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

El objetivo primordial de esta evaluación, es identificar la vulnerabilidad sísmica, que dependiendo la categoría se realizar un análisis más completo, se realizará un análisis no lineal estático, que es un método que requiere información acerca de las secciones de los elementos estructurales, y los materiales del cual están constituidas las edificaciones.

Para la planificación de esta evaluación se debe tener en consideración los factores que se muestran a continuación.

**Tabla 21**

*Planificación de la inspección y evaluación de estructuras existente.*

<b>PLANIFICACIÓN</b>	
<b><i>Desarrollo de un presupuesto.</i></b>	Se debe tomar en cuenta una posible extensión del proyecto para la utilización de los datos posteriormente, así como la capacitación del personal.
<b><i>Reconocimiento del sitio.</i></b>	Se debe identificar los tipos de construcciones y posibles riesgos sísmicos, mapas de deslizamiento de tierra, etc.
<b><i>Conocimiento del formulario</i></b>	El formulario contiene toda la información acerca de la edificación, boceto de planta altura, tipo de suelo, tipología estructural.
<b><i>Selección y capacitación de los evaluadores.</i></b>	Se capacitará al personal que participará en la recolección de datos, con el fin de asegurar la calidad de los mismos.
<b><i>Revisión de planos disponibles.</i></b>	De contar con planos de edificación se revisará, con el fin de facilitar la inspección de campo.
<b><i>Visita de campo.</i></b>	Se debe recorrer toda la edificación tratando de cubrir todos los espacios posibles, durante el recorrido se debe ir llenando el formulario progresivamente.

*Nota.* Se muestra los factores que intervienen en la planificación y evaluación de estructuras existente. Fuente: El autor basado en (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023)

El formulario a través del cual se realiza la recopilación de datos consta de diferentes partes que se irán llenando de manera progresiva a medida que se realiza la inspección visual, a continuación, se los menciona:

- Datos de la edificación (dirección, nombre de la edificación, sitio de referencia tipo de uso).
- Datos del profesional.
- Esquema estructural en planta y elevación de la edificación.
- Fotografía de la edificación.
- Identificación del sistema estructural (pórticos de hormigón armado).
- Puntajes básicos, modificadores y puntaje final.
- Códigos de la construcción.
- Tipo de suelo.
- Puntaje final y grado de vulnerabilidad sísmica.
- Observaciones.

A continuación, se muestran en la Figura 21 y Figura 22, los formularios de detección visual rápida para edificaciones, establecido por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda basado en el FEMA 154.





### 2.9.1 Evaluación visual rápida de acuerdo con el FEMA 154

El fema 154 es una metodología de inspección visual rápida, que consta de cinco formularios de acuerdo a la amenaza sísmica de la estructura, los mismos son de categoría: baja, moderada, moderadamente alta, alta y muy alta. El estado de la edificación se determina a través de un puntaje obtenido de los formularios antes mencionados.

Para determinar el formulario a utilizar se toma como referencia la región sísmica, que esta basa en la respuesta de aceleración espectral para el periodo corto y largo.

**Tabla 22**

*Clasificación de la región sísmica.*

Región Sísmica	Respuesta de aceleración espectral, $S_s$ (período corto o 0.2s)	Respuesta de aceleración espectral, $S_1$ (período largo o 1s)
Baja	$S_s < 0.25g$	$S_1 < 0.10g$
Moderada	$0.25g \leq S_s < 0.5g$	$0.10g \leq S_1 < 0.20g$
Moderadamente alta	$0.5g \leq S_s < 1.0g$	$0.2g \leq S_1 < 0.4g$
Alta	$1.0g \leq S_s < 1.5g$	$0.4g \leq S_1 < 0.6g$
Muy Alta	$S_s \geq 1.5g$	$S_1 \geq 0.6$

*Nota.* Se muestran las regiones sísmicas a partir de la respuesta de aceleración espectral.

Fuente: (Estrada & Vivanco, 2019)

### 2.10 Reforzamiento estructural

El reforzamiento estructural es un proceso que nos permite garantizar la integridad estructural de una edificación, con la finalidad de garantizar criterios de seguridad y funcionalidad. Por lo general las estructuras requieren un reforzamiento estructural debido a que han sufrido daños producto de las cargas y sollicitaciones a las cuales han estado expuestas, o debido a que durante su construcción no fue supervisada y ejecutada por un profesional de la construcción, por lo cual los elementos estructurales no cumplen los requisitos de calidad y seguridad

Existen diversos métodos para realizar un reforzamiento estructural, la elección del método dependerá de varios factores, como el tipo de estructura, el daño o debilidad que presente el elemento y las cargas a las cuales será sometida.

La finalidad del reforzamiento es aumentar la capacidad de carga de la estructura, para ello se puede usar la adición de otros elementos estructurales como vigas, columnas, placas cables y otros componentes que aumenten la rigidez y la resistencia de la estructura. En el caso del concreto se puede recurrir al reforzamiento a través de polímeros con materiales de refuerzo como la fibra de vidrio o carbono, debido a que se adhieren muy bien al concreto. Se puede usar también resinas epólicas con la finalidad de resanar y rellenar fisuras en elementos de concreto, las mismas se aplicarán a través de inyecciones.

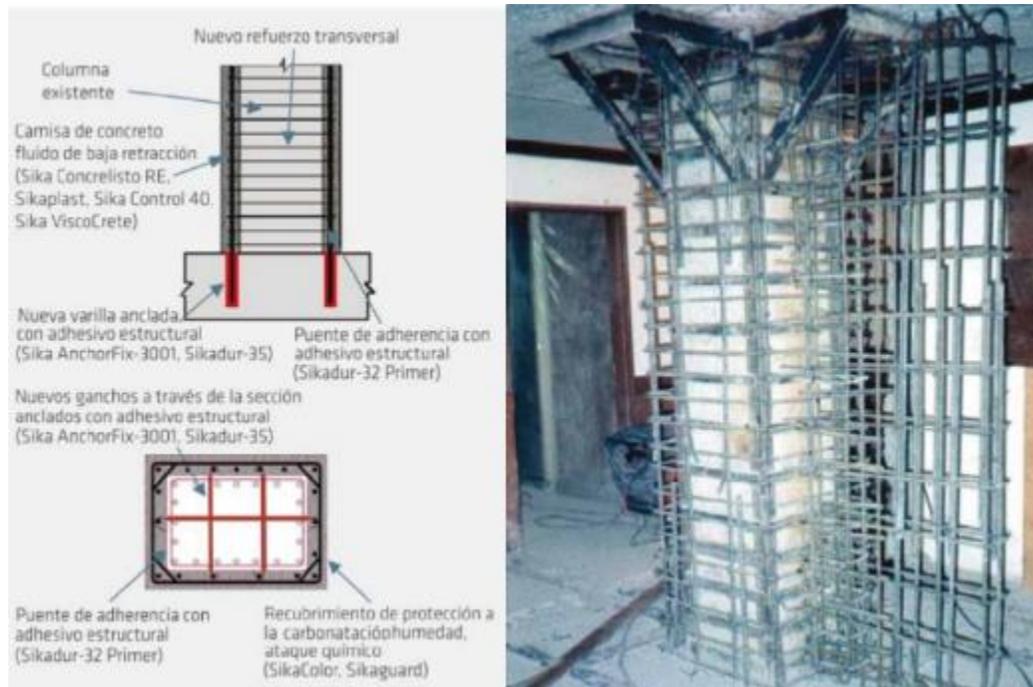
### ***2.10.1 Encamisado con concreto reforzado***

El principal objetivo del reforzamiento estructural por encamisado es la reparación de columnas y vigas con el fin de evitar la demolición. El encamisado consiste en envolver un elemento estructural que ha sufrido una reducción de su capacidad de carga, y generar una mayor sección del elemento mejorando su capacidad a flexión, compresión, torsión y cortante, garantizado el trabajo simultaneo entre el elemento estructural y el refuerzo.

El encamisado con concreto es uno de los métodos más usados, puesto que se ejecuta de manera rápida con uno de los materiales más usados en estructuras como lo es el hormigón. Este sistema de reforzamiento tiene ciertas ventajas como, la compatibilidad del elemento estructural y el reforzamiento, otorga una amplia superficie de contacto garantizado la adherencia entre el hormigón viejo y el nuevo, se conectan los aceros del reforzamiento con el acero del elemento a reforzar, presenta propiedades ignífugas y el más importante crea un cuerpo monolítico entre la estructura el reforzamiento.

## Figura 21

### *Encamisado de concreto reforzado.*



*Nota.* En la figura se muestra el esquema del armado del acero estructural para el reforzamiento por encamisado. Fuente: (Sika, 2016)

El proceso de encamisado en columnas consta de varios pasos que se deben seguir, los cuales se menciona a continuación.

- Se prepara la columna en estado inicial, para ello se debe descubrir completamente la columna hasta el nivel de cimentación.
- Se procede a remover el recubrimiento de la columna hasta llegar al estribo.
- Se procede a perforar la columna para instalar los conectores que permitirán el anclaje de los aceros.
- Se realiza perforaciones en la cimentación, don se anclarán los aceros de refuerzo.

- Se coloca el acero longitudinal de refuerzo a la columna, que se ancla a la cimentación.
- Se coloca los estribos y se procede con el encofrado de la columna.
- Se procede a fundir la columna, el hormigón usado contendrá aditivos que permitan unir el concreto antiguo con el nuevo.

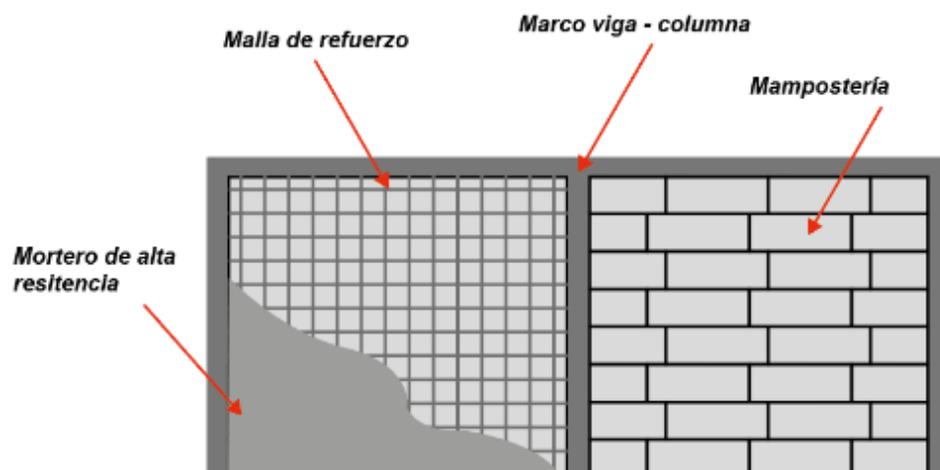
### ***2.10.2 Enchapado de mampostería***

Este tipo de reforzamiento consta de tres elementos, mampostería (Bloque huecos de hormigón, un mortero de baja resistencia y malla electrosoldada, con lo que se busca generar un muro de corte, que rigidice la estructura principal y ayude a soportar las cargas a las cuales va a ser solicitada.

El procedimiento consta de retirar el mortero antiguo de la mampostería, para colocar uno nuevo junto con malla electrosoldada que rigidizara la estructura evitando los desplazamiento y torsión que puedan suscitarse en la estructura.

**Figura 22**

*Enchapado estructural.*



*Nota.* Esquema de enchapado, conformado por un mortero de alta resistencia, mampostería y malla de acero. Fuente: Elaborado por el autor.

### ***2.10.3 Reforzamiento con elementos metálicos***

El reforzamiento con acero estructural es uno de los métodos más utilizados, ya que permite mejorar la resistencia de elementos estructurales a flexión, compresión torsión y corte. El reforzamiento consiste en la colocación de placas que se aseguran a la losa y vigas, mientras que en la columna se colocan ángulos y placas en el base confinado la columna formando una especie de encamisado.

Este sistema de reforzamiento presenta ventaja como, el tiempo de ejecución es relativamente corto, se cuenta con la mano de obra calificada para llevarlo a cabo, es un método versátil que se acopla a diferentes tipos de elementos estructurales. Por otro lado, también presenta algunas desventajas como, el aumento del peso de la estructura producto del peso mismo de los refuerzos, se requiere un mantenimiento continuo de los refuerzos, su costo en un poco elevado debido a que en ocasiones se requiere maquinaria para mover los refuerzos y por último no es agradable a la vista, afecta a la estética del lugar.

#### **Figura 23**

*Reforzamiento estructural con acero.*



*Nota.* En la figura se muestra el acero de refuerzo colocado en columnas, las cuales se anclan a la losa. Fuente: (ek4, 2021)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

Definen como investigación de campo (Cevallos Veintimilla y otros, 2017), “Un proceso sistemático basado en una estrategia de recolección directa de la realidad de las informaciones necesarias para la investigación” por lo antes mencionado, el tipo de investigación a ser usado en este proyecto es la de campo, ya que se obtendrá la información necesaria para el desarrollo del mismo, a través de visitas técnicas a la institución educativa. Mediante métodos de inspección visual rápida, se recopilará información arquitectónica, estructural y no estructural.

#### **3.2 Método de investigación**

Debido a la cantidad de datos y variables que se va a manejar de manera simultánea, el método de investigación idóneo para este proyecto, es el método analítico. Esta investigación debe cubrir de manera sistemática varias fases de manera continua, debido a que se reducirá en grupos más pequeños, y analizará cada elemento por separado, este método de investigación nos permitirá el desarrollo del proyecto de manera más sencilla. (Jurado Rojas, 2020)

#### **3.3 Técnica de recolección de información**

La recopilación de información empezará mediante la observación, a través de métodos de inspección visual rápidos establecidos en normativas y códigos de diseño se recabará información, posteriormente se plasmará esta información en fichas técnicas, que nos permitirá evaluar y conocer en primeras instancias el estado actual de las estructuras. Posteriormente se usará esta información para realizar análisis más detallados y específicos, que nos permitirá evaluar de manera adecuada las estructuras con las que cuenta la unidad educativa.

### **3.4 Proceso técnico**

#### ***3.4.1 Recolección información In situ***

Se iniciará recabando información geométrica y topográfica de las instalaciones con las que cuenta la escuela de educación básica, a través de visitas técnicas. Con la información recabada se procederá a realizar los planos arquitectónicos de la misma, en los que constará información geométrica de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones existentes.

#### ***3.4.2 Uso de fichas técnicas normadas***

La información se procesará en fichas técnicas normadas, de acuerdo al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), basado en los formatos del FEMA 154, las cuales plasmarán la información recolectada. Las mismas nos otorgarán un puntaje de evaluación, mediante el cual podremos determinar de manera general el estado actual de la estructura, el procedimiento de análisis estructural idóneo que se ajuste a las necesidades del proyecto y la profundidad del análisis.

#### ***3.4.3 Análisis estructural***

Una vez determinado el método de evaluación estructural, se procederá a modelar las estructuras a analizar, considerando todas las variables que puedan influir en su comportamiento, posteriormente se analizará y obtendrá su comportamiento estructural, en base a la respuesta sísmica estructural del modelo.

#### ***3.4.4 Métodos de reforzamiento estructural***

Posteriormente se analizará y discutirá los resultados obtenidos. A partir de aquí se discutirá los procedimientos y métodos de rehabilitación que se deberá ejecutar de ser el caso, en el que las estructuras deban ser intervenidas, ya sea porque no cumplan con criterios de funcionalidad o seguridad.

## CAPÍTULO IV

### EVALUACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

#### 4.1 Descripción general de la edificación

La edificación objetivo de estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de Quito en las calles José Rivadeneira y Nicolás de Rocha, al sur de la ciudad. Su actividad empezó en el año de 1984 en la que se construyó un primer el primer bloque que fue una construcción de un nivel, y fue utilizada por la comunidad académica, que en esa época era reducida.

#### Figura 24

*Fachada Escuela Rafael Cruz Cevallos.*



Elaborado por: El autor.

El predio perteneciente al Ministerio de Educación, tiene un área de 1255.62 metros cuadrados de acuerdo al informe de regulación metropolitana (IRM), tiene un área de construcción

de 1137.45 metros cuadrados divididos en dos bloques principales en dos niveles, los cuales alberga a una comunidad académica superior a los 1100 alumnos.

Originalmente había un solo bloque, pero con el pasar del tiempo fueron ampliando y construyendo bloques adyacentes, hasta llegar a tener dos bloques principales constituidos en dos niveles, en la planta baja se encuentran 8 aulas, 3 bodegas, 3 baterías sanitarias, en la planta alta existen 9 aulas y una oficina que es usada por rectorado, dando un total de 17 aulas que albergan alrededor de 35 estudiantes por aula, la institución cuenta también con un graderío al igual que la mayor parte de los bloques se encuentran cubiertos con estructura metálicas.

En la edificación se puede apreciar ciertas patologías estructurales, procedentes de las adecuaciones y ampliaciones que no siguieron un proceso constructivo adecuado, ni cumpliendo con normas de calidad y seguridad, estas patologías estructurales se identificaron de forma visual durante una visita técnica a la institución.

La edificación consta de dos sistemas estructurales, el primero es un sistema a porticado compuesto por losa columnas y vigas banda o embebidas, el segundo es un sistema a porticado compuesto por losas columnas y vigas peraltadas o descolgadas, siendo estas una mejor opción de sistema estructural. Se pudo apreciar también espacios que fueron adecuados y que presentan graves problemas estructurales que se mencionaran a continuación.

#### 4.1.1 Identificación de la institución

**Tabla 23**

*Identificación de la institución.*

<b>Nombre:</b>	Escuela de Educación Básica Rafael Cruz Cevallos.
<b>Propietario:</b>	Ministerio de Educación.
<b>Director/a:</b>	Lic. Mercedes Chamba.
<b>Dirección:</b>	José Rivadeneira y Nicolás de Rocha.
<b>Barrio:</b>	Asistencia Social.
<b>Parroquia:</b>	Quitumbe.
<b>Cantón:</b>	Quito.
<b>Provincia:</b>	Pichincha.
<b>Nivel:</b>	Primaria.
<b>Jornadas:</b>	Matutina / Vespertina
<b>Población Académica:</b>	1100.0
<b>Regimen:</b>	Sierra.

*Nota.* El cuadro muestra la información de la institución educativa. Fuente: El autor.

La institución educativa consta de diferentes construcciones que forman un bloque principal en dos niveles, donde se alberga a la comunidad educativa (alumnos y docentes), el mismo está constituido de hormigón armado en su mayoría. Un segundo bloque del que dispone la institución es de un nivel y está destinada a las baterías sanitarias, oficinas del personal administrativo y bodegas, la construcción está constituida por columnas de hormigón, mampostería y una cubierta metálica, su altura es relativamente baja.

#### 4.1.2 Áreas de la institución

La información que se menciona a continuación, fue obtenida del informe de regulación metropolitana del distrito Metropolitano de Quito (IRM). El predio con número 131538 perteneciente al Ministerio de Educación, muestra información referente a dos áreas, área de escritura y área gráfica, las cuales no coinciden en tres si, esto debido a que no cuenta con el área

regularizada, a continuación, se mencionan las áreas registradas en el informe de regulación metropolitano.

#### **Tabla 24**

*Cuadro de área de la institución.*

<b>ÁREA TOTAL</b>	
ÁREA SEGÚN ESCRITURA	1255,62 m2
ÁREA GRÁFICA (SISTEMA CATASTRAL)	1313,49 m2
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN CUBIERTA	969,55 m2

*Nota.* Se muestra información referente al área gráfica de la institución educativa.

Elaborado por: El autor.

A continuación, se describen las áreas de construcción de la Escuela Rafael Cruz Cevallos, las mismas fueron obtenidas mediante información recabada In situ, y plasmados en planos arquitectónicos.

#### **Figura 25**

*Bloque principal Escuela Rafael Cruz Cevallos.*



*Nota.* El bloque principal está constituido por diferentes edificaciones, el mismo alberga a la mayor parte de la comunidad académica. Elaborado por: El autor.

**Tabla 25**

*Cuadro de áreas bloque principal.*

<b>Boque Principal</b>	
<b>Área en Planta Baja</b>	474,00 m <sup>2</sup>
<b>Área en Planta Alta</b>	546,35 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>1020,35 m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Se muestra la distribución de área del bloque principal tanto de la planta alta como de la planta baja. Elaborado por: El autor.

**Figura 26**

*Bloque secundario Escuela Rafael Cruz Cevallos.*



*Nota.* Este bloque está destinado al personal administrativo, y a su uso como bodegas.

Elaborado por: El autor.

**Tabla 26**

*Cuadro de áreas bloque secundario.*

<b>Bloque Secundario</b>	
<b>Área en Planta</b>	90,80 m <sup>2</sup>

Elaborado por: El autor.

Adicional a las edificaciones mencionadas, la institución educativa cuenta un graderío techado, constituido por estructura metálica tipo cercha.

**Figura 27**

*Graderío de la institución.*



Elaborado por: El autor.

**Tabla 27**

*Cuadro de área del graderío.*

Graderío	
Área	26,30 m <sup>2</sup>

Elaborado por: El autor.

A continuación, se muestra en la Tabla 29 un resumen de las áreas tomadas in situ.

**Tabla 28**

*Cuadro de áreas totales.*

Área Construida	
Bloque Principal	1020,35 m <sup>2</sup>
Bloque Secundario	90,80 m <sup>2</sup>
Graderío	26,30 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>1137,45 m<sup>2</sup></b>

Área Libre	
Área Total	1255,62 m <sup>2</sup>
Área Techada	671,60 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>584,02 m<sup>2</sup></b>

*Nota.* Se muestra un resumen de las áreas totales de la institución. Elaborado por: El autor.

Con el fin de este estudio se procedió a dividir la edificación en 4 bloques, debido a que presentan un sistema estructural diferente claramente diferenciables entre sí, y que muestra la construcción de los mismos en diferentes etapas, los mismos se presentan a continuación.

**Figura 28**

*Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 1.*



*Nota.* Presenta una configuración estructural de a porticado con vigas banda. Elaborado por: El autor.

## Figura 29

*Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 2.*



*Nota.* Este bloque presenta un sistema estructural a porticado con vigas peraltadas, es también uno de los primeros bloques en ser construido. Elaborado por: El autor

## Figura 30

*Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 3.*



*Nota.* Los elementos estructurales de este bloque presentan una distribución y secciones diferentes. Elaborado por: El autor.

**Figura 31**

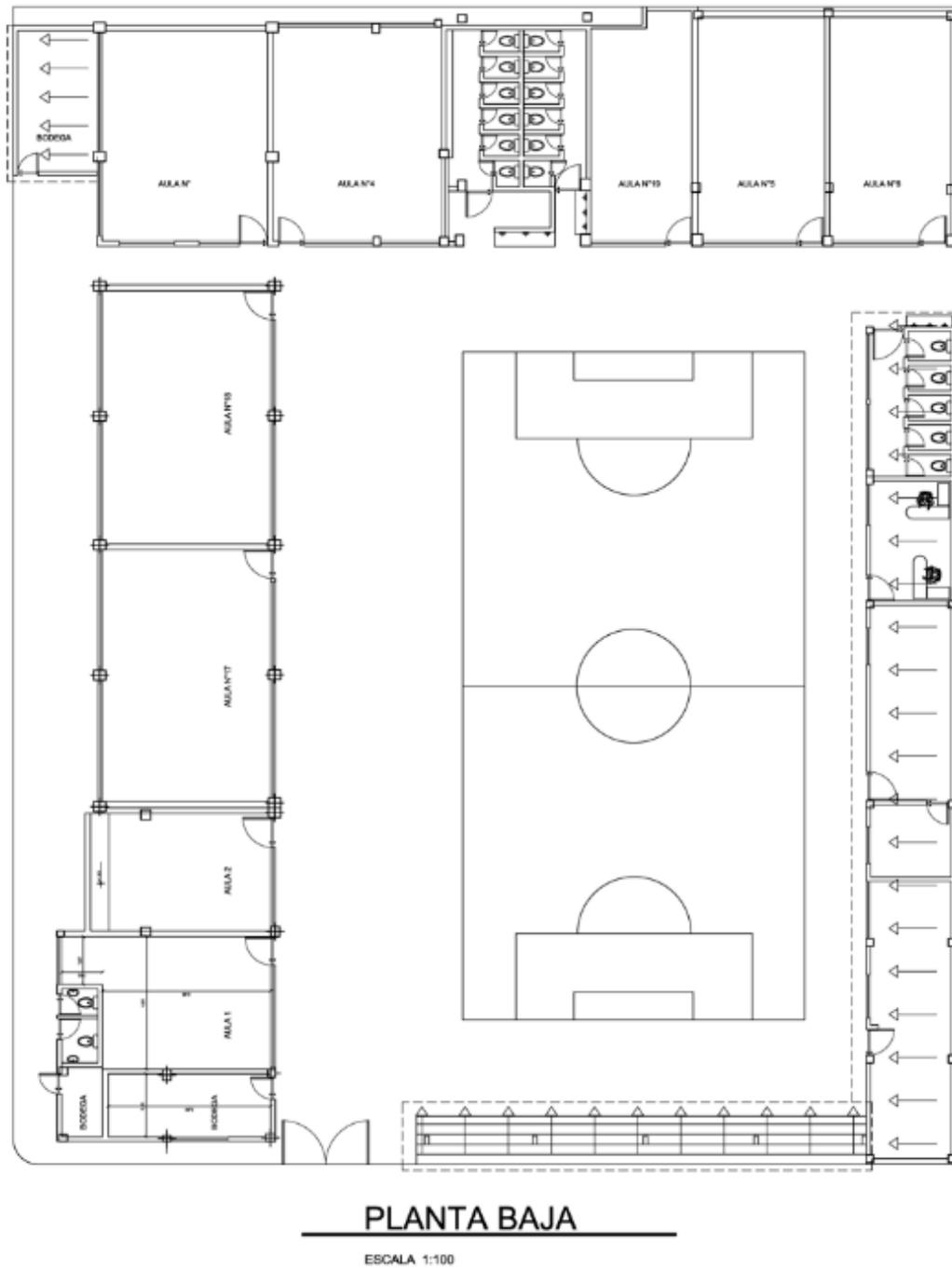
*Escuela Rafael Cruz Cevallos Bloque 4.*



*Nota.* La edificación mostrada en la figura, fue tomada como un bloque individual, debido a que no comparte características similares con el resto. Elaborado por: El autor.

**Figura 32**

*Esquema de la edificación planta baja.*



*Nota.* Distribución arquitectónica de la institución educativa en la planta baja. Elaborado por: El autor.

**Figura 33**

*Esquema de la edificación planta alta.*



*Nota.* Distribución arquitectónica de la planta alta de la institución educativa. Elaborado por: El autor.

## 4.2 Inspección y evaluación del estado general de la edificación.

Para la evaluación vamos a utilizar el formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, basada en el FEMA 154, el mismo que nos otorga el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

El proceso que se realizó, consto de visitas de campo a la edificación con la finalidad de recabar información y datos cualitativos y cuantitativos que se irán plasmando en el formulario antes mencionado.

### 4.2.1 Nivel de sismicidad.

En primer lugar, procedemos a determinar la región sísmica en base a la respuesta de aceleración espectral en el periodo corto ( $S_s = 0.2$  segundos) y en el período largo ( $S_1 = 1.0$  segundos) con el fin de seleccionar el formulario adecuado. Para ello, es necesario realizar la construcción de la gráfica del espectro de diseño elástico de acuerdo a los parámetros mencionados en la NEC -15. Para objeto de este estudio, y con la finalidad de ser más preciso usaremos la información con respecto a los factores de amplificación del suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  del estudio de microzonificación de Quito realizado por (Aguiar Falconí, 2017)

**Tabla 29**

*Coefficientes de amplificación del suelo del Barrio Asistencia Social.*

<b>Coefficiente de Amplificación del Suelo</b>	
<b><i>F<sub>a</sub></i></b>	1.255
<b><i>F<sub>d</sub></i></b>	1.105
<b><i>F<sub>s</sub></i></b>	1.225

*Nota.* Con el fin de ser más exactos, los coeficientes que se muestran en la tabla, fueron obtenidos de un estudio de microzonificación de Quito, de acuerdo al sitio donde se encuentra ubicada la Escuela Rafael Cruz Cevallos. Elaborado por: El autor basado en (Aguiar Falconí, 2017)

Los valores obtenidos en base a la respuesta de aceleración espectral en el periodo corto ( $S_s = 0.2$  segundos) y en el período largo ( $S_1 = 1.0$  segundos) fueron.

**Tabla 30**

*Aceleración espectral  $S_s$  y  $S_1$ .*

<b>Respuesta de aceleración espectral</b>	<b>Valor (g)</b>
<b><math>S_s</math></b>	1.245
<b><math>S_1</math></b>	0.7385378

*Nota.* Se muestra los valores de aceleración espectral para el periodo corto y largo de vibración, en base al espectro de diseño elástico, establecido en la NEC-15. Elaborado por: El autor.

**Tabla 31**

*Determinación de la región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral.*

<b>Región sísmica</b>	<b>Respuesta de aceleración espectral, <math>S_s</math> (periodo corto, o 0.2 segundos)</b>	<b>Respuesta de aceleración espectral, <math>S_1</math> (periodo largo, o 1.0 segundo)</b>
Baja	$S_s < 0.250g$	$S_1 < 0.10g$
Moderada	$0.250g \leq S_s < 0.50 g$	$0.100g \leq S_1 < 0.200g$
Moderadamente alta	$0.500g \leq S_s < 1.00g$	$0.200g \leq S_1 < 0.400g$
Alta	$1.000g \leq S_s < 1.50g$	$0.400g \leq S_1 < 0.600g$
Muy alta	$S_s \geq 1.500g$	$S_1 \geq 0.600g$

*Nota:* g= Aceleración de la gravedad en dirección horizontal

*Nota.* Los valores mostrados en la tabla dependerán del tipo de suelo donde se encuentre la edificación. Fuente: Fema (2015)

De acuerdo a los valores obtenidos, procedemos a identificar que, para nuestro caso de estudio, es muy alta, con lo cual ya podemos determinar el formulario o usarse para la detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones, que para este caso será el formulario de muy alta sismicidad.





Una vez llenado el formulario de inspección visual rápida de nivel, el puntaje para la edificación fue de 0.2, este valor es menor al puntaje mínimo de 0.3 establecido por el formulario, con lo cual nos indica que estructura es potencialmente vulnerable ante un evento sísmico. Con el puntaje del formulario de nivel 1, se procedió a realizar el llenado del formulario de nivel 2, el mismo es opcional; sin embargo, al ser un sistema estructural de losas planas con vigas embebidas y al ser potencialmente vulnerable, se sugiera realizar la evaluación.

Una vez realizada la evaluación a través de la recopilación de información y el llenado del formulario de nivel 2, se obtuvo como puntaje final 0 que es menor al puntaje mínimo establecido, por lo que nos indica que la edificación es altamente vulnerable y requiere de una evaluación especial.

#### **4.3 Patologías estructurales graves en la edificación.**

La edificación que ocupa la Escuela Rafael Cruz Cevallos, empezó su funcionamiento en el año de 1984, constituida por un solo bloque de un nivel, construido por el DINSE (Dirección Nacional de Servicios Educativos), a medida que fue creciendo la población estudiantil y con el paso del tiempo, se fue construyendo el resto de la edificación con la que cuentan al día de hoy.

Durante este proceso de ampliaciones y adecuaciones, de acuerdo a información otorgada por docentes y autoridades de la institución educativa, no se siguió una planificación, diseño y construcción adecuada que garantice estándares de calidad y seguridad de los espacios intervenidos, mencionaron también que dichas adecuaciones y ampliaciones en su gran mayoría se realizaron por los padres de familia que a través de mingas construyeron los nuevos espacios.

La falta de control en la calidad de los materiales usados en estas adecuaciones, y la ausencia de un profesional de la construcción que garantice la correcta ejecución de los procesos constructivos, ha hecho que dichos espacios presenten problemática, debido a la gran cantidad de

patologías estructurales presentes, que han sido identificadas por alumnos, docentes y personal de servicio de la institución, poniéndolos en alerta.

A continuación, se menciona los errores constructivos que se apreciaron durante las visitas técnicas realizadas a la institución, vistos desde la parte ingenieril.

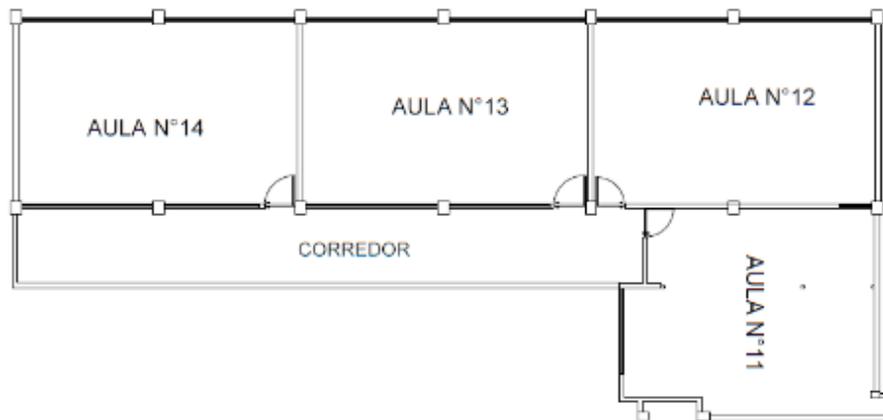
#### ***4.3.1 Adecuación de aulas adosadas al bloque 2 de la institución.***

La construcción de la Escuela Rafael Cruz Cevallos al realizarse en distintas etapas, se puede apreciar y diferenciar claramente los bloques que fueron construidos respetando la normativa vigente de esa época. Por lo cual resulta relativamente sencillo identificar las construcciones informales. Por temas de practicidad se dividió la edificación en 4 bloques.

Las aulas número 4 y 11, son las que se ven afectadas por una mala práctica constructiva, las mismas se encuentran en el nivel inferior y superior entre el bloque 2 y 3.

#### **Figura 35**

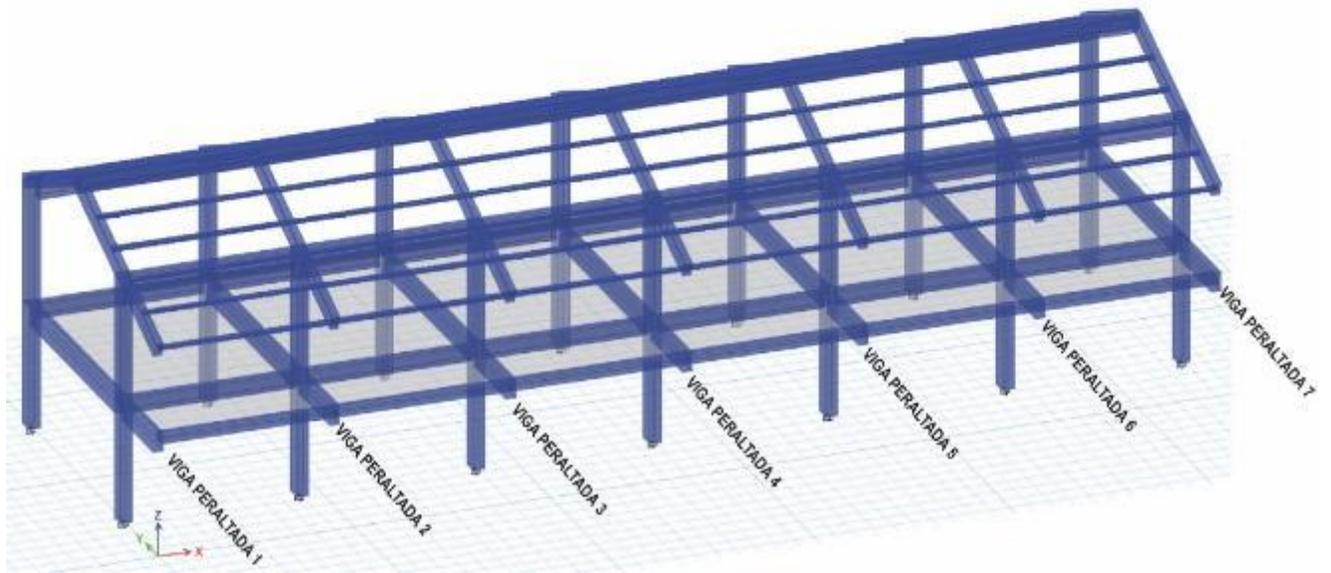
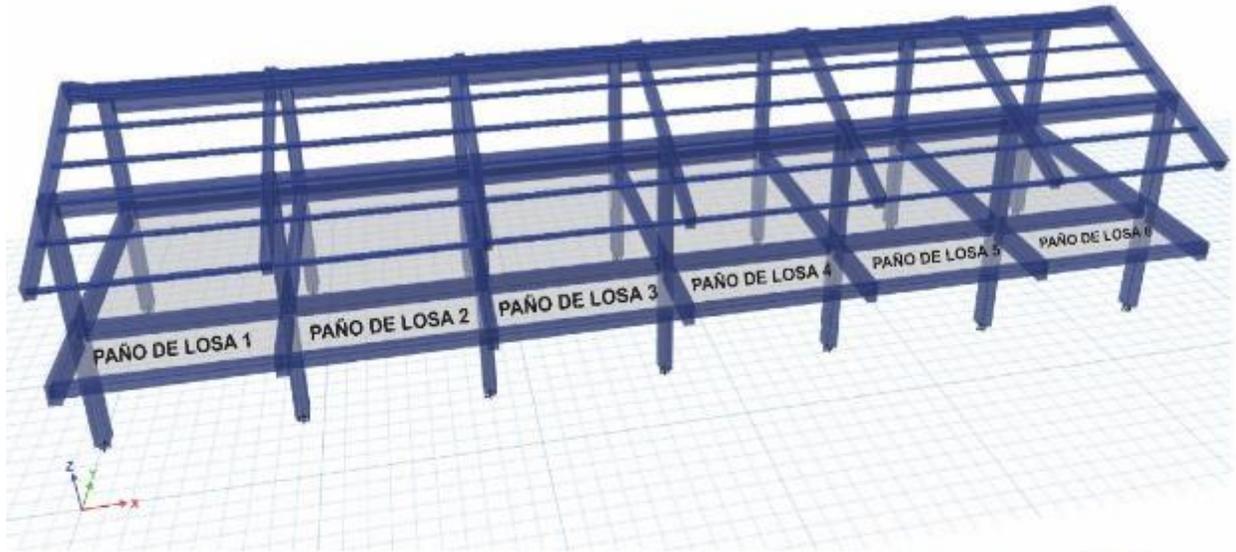
Vista en planta aulas del bloque 2.



*Nota.* Se muestra el bloque 2 conformado por las aulas número 12, 13 y 14, el aula número 11 que se encuentra adosada al bloque 2.

#### **Figura 36**

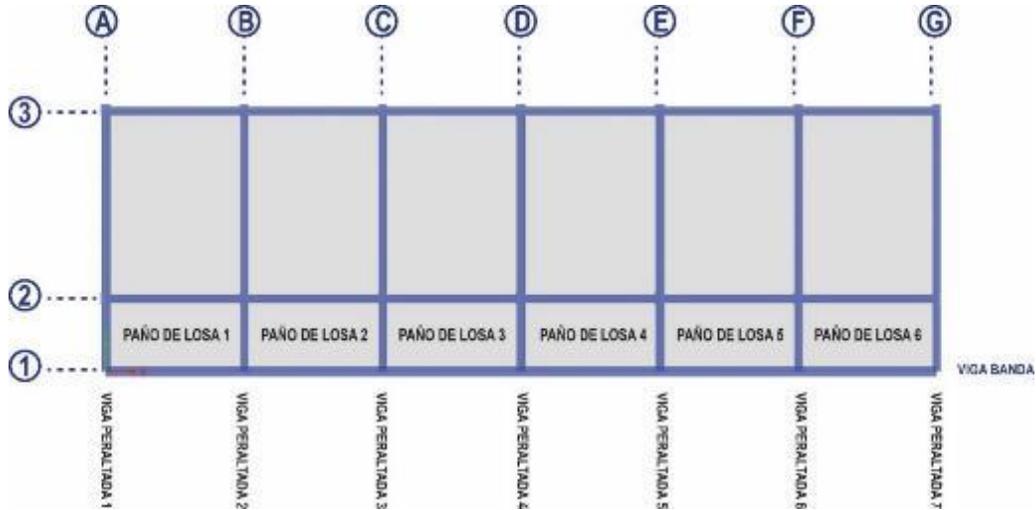
*Modelo tridimensional del bloque 2.*



*Nota.* Se muestra las vigas y paños de losa que conforman la estructura del bloque 2. Elaborado por: El autor.

**Figura 37**

*Vista en planta de columnas vigas y losas del bloque 2.*

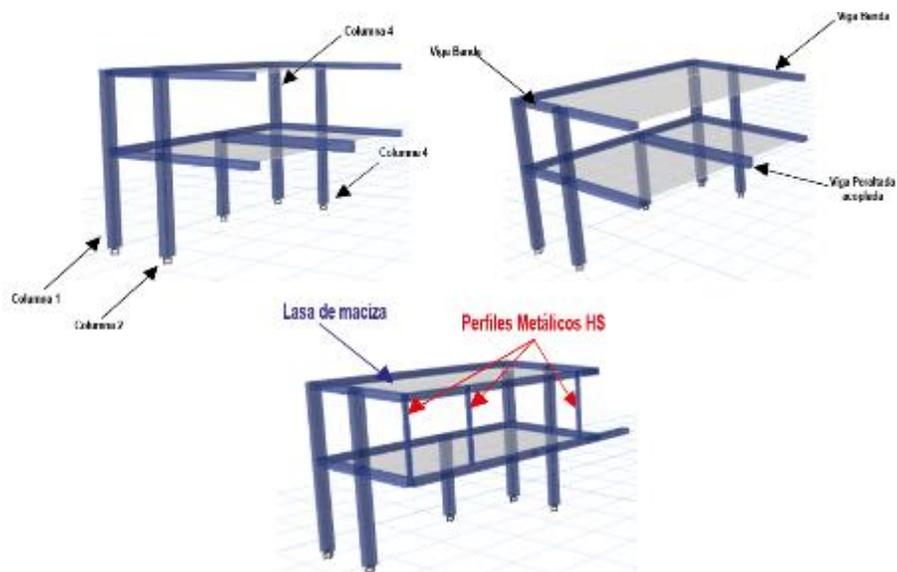


*Nota.* Configuración estructural vigas columnas y losas del bloque 2 vista en planta.

Elaborado por: El autor.

**Figura 38**

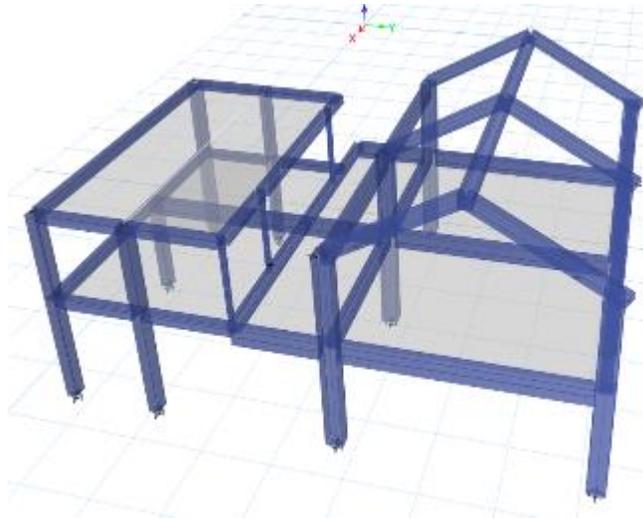
*Portico aula 4 y 11.*



*Nota.* Se muestra la configuración estructural acoplada al bloque 2. Elaborado por: El autor.

### Figura 39

*Modelo tridimensional de la construcción acoplada al bloque 2.*



*Nota.* Se muestra en la figura como se acopla la construcción informal al bloque 2.

Elaborado por: El autor.

### Figura 40

*Viga peraltada número 7 del bloque 2.*



*Nota.* Losa apoyada sobre parte de la viga peraltada del bloque 2. Elaborado por: El autor.

### **Figura 41**

*Fisuras en la losa del aula número 4.*



*Nota.* La fisura se presenta y se extiende a lo largo del eje ortogonal de la losa del bloque 2.

Elaborado por: El autor.

### **Figura 42**

*Fallas estructurales aula 11.*



*Nota.* Se muestra la presencia de elementos estructurales discontinuos. Elaborado por: El autor.

### Figura 43

*Discontinuidad de columnas.*



*Nota.* Se puede apreciar que la columna que viene desde el nivel inferior no llega a conectar con la losa de techo. Elaborado por: El autor.

### Tabla 33

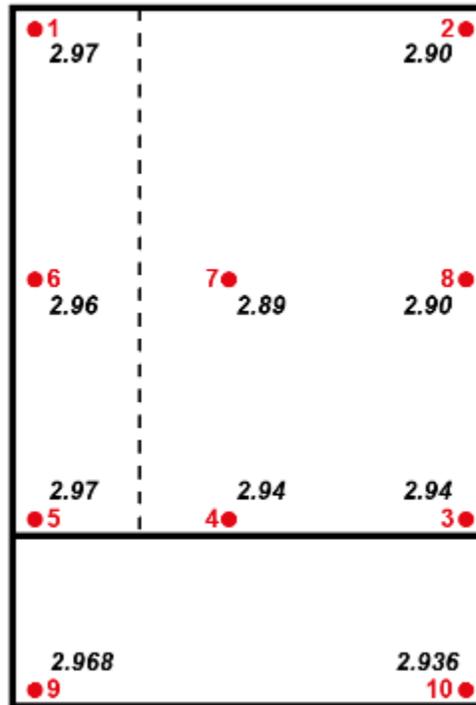
*Deflexiones medidas en losa de entrepiso aula 4.*

MEDICIONES EN LOSA	
<b><i>h1</i></b>	2.97
<b><i>h2</i></b>	2.9
<b><i>h3</i></b>	2.94
<b><i>h4</i></b>	2.94
<b><i>h5</i></b>	2.97
<b><i>h6</i></b>	2.96
<b><i>h7</i></b>	2.89
<b><i>h8</i></b>	2.9
<b><i>h9</i></b>	2.936
<b><i>h10</i></b>	2.968

Elaborado por: El autor.

Figura 44

*Mediciones en losa de entrepiso.*



*Nota.* Puntos de medición losa de techo aula 4. Elaborado por: El autor.

A continuación se menciona una lista de malas prácticas constructivas que se realizaron en la adecuación de esta aula (aula número 11), que comprometen la seguridad de sus ocupantes y la integridad estructural del bloque 2.

Sistema estructural inestable: como se muestra en la Figura 38, el bloque 2 presenta vigas peraltadas (viga 6 y 7) y losa en voladizo (paño de losa 6) correspondientes a un corredor originalmente. Con la finalidad de generar un nuevo espacio, colocaron una losa a continuación de este volado, que se apoya por 5 columnas con una sección irregular como se aprecia en la Figura 41; sin embargo, esta configuración estructural conformada por columnas, losas y vigas banda es inestable.

Irregularidad en la distribución de columnas: como se puede observar en la Figura 40, el portico esta constiuido por 5 columnas que no forman un portico como tal, sino que se apoya sobre una viga acoplada a la viga peraltada del bloque 2, tal como se meustra en la Figura 41, este acople puede generar un punto de falla crítico, debido a que no se da una correcta aderencia entre el concreto nuevo y antiguo, ni tampoco se puede ancla de manera correcta el acero estructural entre ambas secciones de la viga.

Punzonamiento: en la Figura 44, se muestra el aula 11, la cual cuenta con una losa maciza soportada por perfiles metálicos HS 100x50x15x4, los mismos que se poyan directamente sobre la losa del nivel inferior, es decir no tienen continuidad desde el nivel inferior, generando adicionalmente deflexiones en la losa y fisuración que son perceptibles a la vista, y que han sido medidas en la losa del nivel inferior.

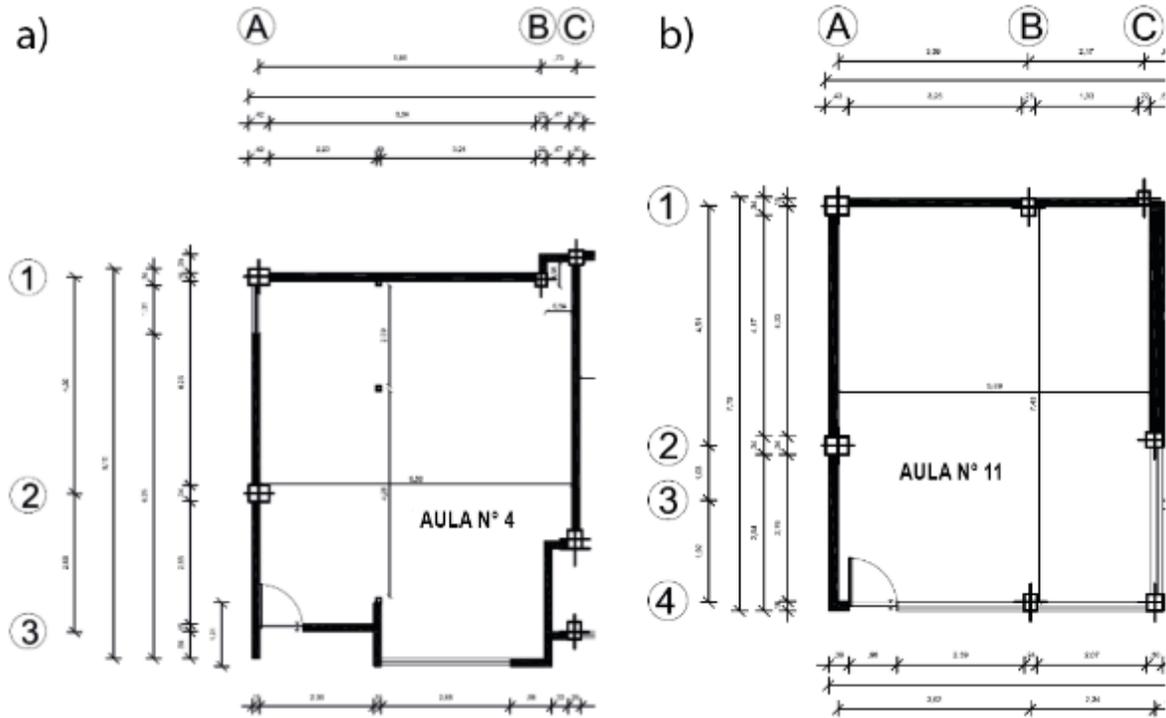
Discontinuidad de columnas: La columna que se aprecia en la Figura 45, es parte del aula número 11, muestra discontinuidad, ya que no llega a conectar con la losa del nivel superior.

Por lo antes mencionado, esta construcción informal presenta un riesgo inminente, por cual se debe tratar, en lo posible, de mejorar su comportamiento a través de acciones que mitiguen los efectos adversos durante un evento sísmico.

Las deflexiones máximas permisibles de acuerdo con el ACI 318, en cubiertas de entrepiso que soporten a elementos no estructurales es de  $L/480$ ; sin embargo, la deflexión presente en la losa es de 5 centímetros como se muestra en la Figura 44, su deflexión máxima debería ser de 1.56 centímetros.

**Figura 45**

*Vista en planta construcción informal..*



*Nota.* La figura a) muestra la implantación del aula número 4 ubicada en el nivel inferior +0.00, la figura b) muestra la implantación del nivel superior +3.00. Fuentes: El autor.

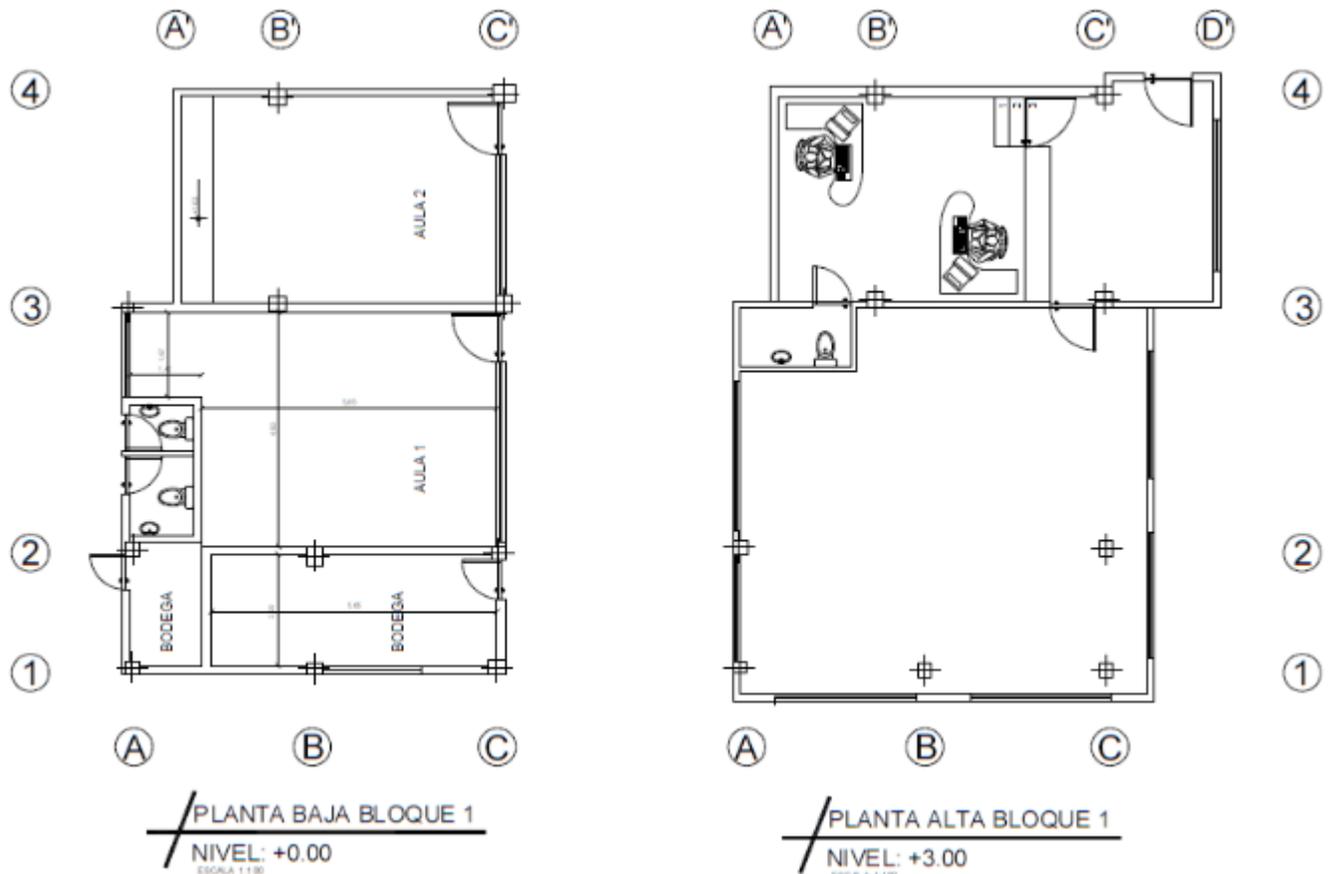
#### **4.3.2 Irregularidades en el bloque 1 de la institución**

El bloque 1 es claramente diferenciable del bloque 2, debido a que presenta un sistema estructural diferente, vigas y columnas de diferente sección en comparación a las del bloque 2. El bloque 1 está constituido por un sistema estructural a porticado, constituido por losas, columnas y vigas banda, lo cual no es lo más recomendable para este tipo de edificaciones destinadas a centros educativos.

Durante el recorrido realizado y el levantamiento de información, se pudo realizar ciertas observaciones que pueden poner en riesgo la edificación del bloque 1, las mismas se mencionan a continuación.

**Figura 46**

*Vista en planta Bloque 1.*



*Nota.* Se muestra la distribución arquitectónica de la planta alta y baja del bloque 1.

Elaborado por: El autor.

Discontinuidad: como se muestra en la Figura 47, la columna ubicada en los ejes B-2 no continua en el nivel superior de la estructura, presentando discontinuidad en sus elementos estructurales.

Volados excesivos: el bloque 1 está constituido por columnas, losas y vigas bandas. Como se muestra en la Figura 47, la planta alta del bloque 1, en la parte frontal presenta volados excesivos de 2.30 metros entre el eje C' y D', mientras que en la parte posterior el volado alcanza los 2.00 metros entre los ejes A' y B'.

Por lo antes mencionado, y considerando que el bloque 1 presenta un sistema estructural a porticado, conformado por vigas banda se debe tener en consideración el efecto adverso sobre el comportamiento de la estructura.

#### **4.4 Elementos estructurales principales.**

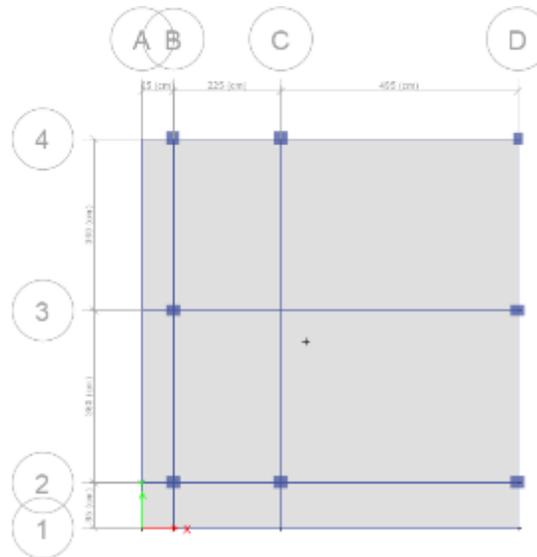
Se recopiló información in situ de las secciones que componen las estructuras de la Escuela de Educación Básica Rafael Cruz Cevallos, a través de una visita técnica a la institución, en las que se recopiló información arquitectónica con la cual posteriormente se realizó un plano arquitectónico que contiene información de cada una de las instalaciones de la escuela como, distribución de espacios, altura de piso, dimensiones de los elementos estructurales como vigas, columnas, correas metálicas y cubiertas de techo.

Con respecto a la parte estructural como la resistencia del hormigón, tipo y cantidad de acero estructural usado en columnas, vigas y losas no se encontró información, puesto que no existen informes de las construcciones y de las adecuaciones que se fueron realizando con el tiempo; sin embargo, la construcción de las edificaciones estuvieron a cargo de ente reguladores como el DINSE (Dirección Nacional de Servicios Educativos), los cuales debieron haber realizado el diseño de las estructuras respetando el código de la construcción vigente.

Por lo antes mencionado y con fines prácticos para el desarrollo de este proyecto, los valores de resistencia a la compresión del hormigón (féc.) será adoptado  $210 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que para el acero estructural se optará por un valor del esfuerzo a la fluencia (y) igual a  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 47**

Vista en planta bloque 1.



*Nota.* Se muestra los ejes horizontales y verticales de referencia correspondientes al bloque

2. Elaborado por: El autor.

Tabla 34

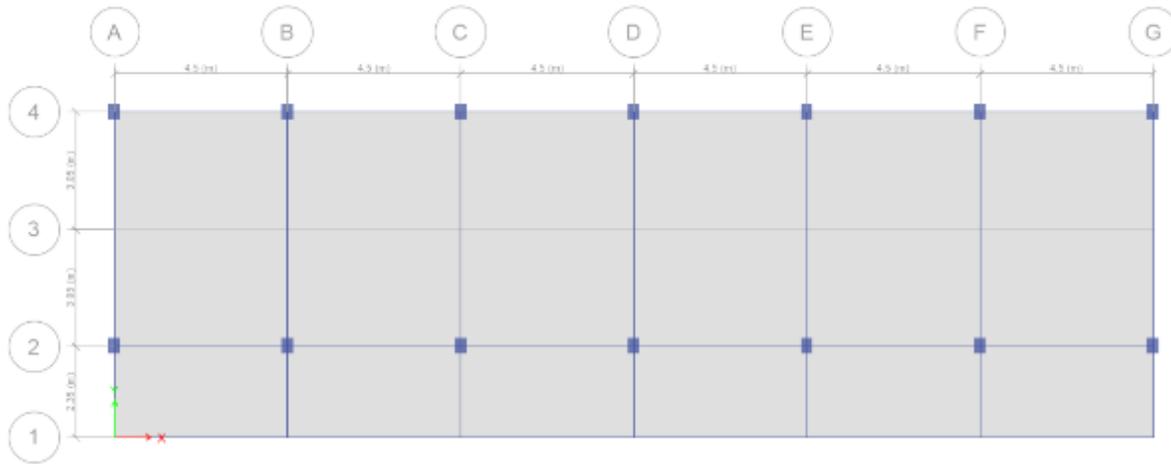
Cuadro de columnas bloque 1.

Cuadro de columnas bloque 1						
Columna	Sección		Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm <sup>2</sup> )	As max (cm <sup>2</sup> )
	b (cm)	h (cm)				
B2	24	29	1	3	6.96	20.88
B3	24	29	1	3	6.96	20.88
B4	28	28	1	3	7.84	23.52
C2	24	29	1	3	6.96	20.88
C4	28	28	1	3	7.84	23.52
D2	24	29	1	3	6.96	20.88
D3	24	29	1	3	6.96	20.88
D4	25	25	1	3	6.25	18.75

*Nota.* El cuadro muestra la distribución de columnas de acuerdo a la información del plano arquitectónico realizado. Elaborado por: El autor.

**Figura 48**

*Vista en planta bloque 2.*



*Nota.* Se muestran los ejes horizontales y verticales, con sus respectivas distancias correspondientes al bloque 2. Elaborado por: El autor.

**Tabla 35**

*Cuadro de columnas del bloque 2.*

Cuadro de columnas bloque 2						
Columna	Sección		Cuantía mínima (1%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm <sup>2</sup> )	As max (cm <sup>2</sup> )
	b (cm)	h (cm)				
E2	30	40	1	3	12	36.00
E5	30	40	1	3	12	36.00
F2	30	40	1	3	12	36.00
F5	30	40	1	3	12	36.00
G2	30	40	1	3	12	36.00
G5	30	40	1	3	12	36.00
H2	30	40	1	3	12	36.00
H5	30	40	1	3	12	36.00
I2	30	40	1	3	12	36.00
I5	30	40	1	3	12	36.00
J2	30	40	1	3	12	36.00
J5	30	40	1	3	12	36.00

*Nota.* El cuadro muestra la distribución de las columnas, sus dimensiones y la cantidad de acero. Elaborado por: El autor

**Figura 49**

Vista en planta bloque 3.



*Nota.* Se muestran los ejes horizontales y verticales, con sus respectivas distancias correspondientes al bloque 2. Elaborado por: El autor.

**Tabla 36**

Cuadro de columnas bloque 3.

Cuadro de columnas bloque 3						
Columna	Sección		Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm <sup>2</sup> )	As max (cm <sup>2</sup> )
	b (cm)	h (cm)				
A1	29	39	1	3	11.31	33.93
A2	29	39	1	3	11.31	33.93
A3	29	39	1	3	11.31	33.93
B1	35	40	1	3	14.00	42.00
B2	35	40	1	3	14.00	42.00
B3	35	40	1	3	14.00	42.00
C1	30	30	1	3	9.00	27.00
C2	30	30	1	3	9.00	27.00
C3	35	40	1	3	14.00	42.00
D1	30	30	1	3	9.00	27.00
D2	30	30	1	3	9.00	27.00
D3	30	34	1	3	10.20	30.60
E1	30	34	1	3	10.20	30.60
E2	30	34	1	3	10.20	30.60
E3	30	34	1	3	10.20	30.60

*Nota.* El cuadro muestra la distribución de las columnas en el bloque 3 sus dimensiones, y cantidad de acero. Elaborado por: El autor.

**Tabla 37***Cuadro de columnas bloque 4.*

Cuadro de columnas bloque 4						
Columna	Sección		Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm <sup>2</sup> )	As max (cm <sup>2</sup> )
	b (cm)	h (cm)				
A1	24	24	1	3	5.76	17.28
A2	24	24	1	3	5.76	17.28
B1	24	24	1	3	5.76	17.28
B2	24	24	1	3	5.76	17.28
C1	24	27	1	3	6.48	19.44
C2	24	27	1	3	6.48	19.44
D1	25	25	1	3	6.25	18.75
D2	25	25	1	3	6.25	18.75
E1	25	25	1	3	6.25	18.75
E2	25	25	1	3	6.25	18.75
F1	25	25	1	3	6.25	18.75
F2	25	27	1	3	6.75	20.25
G1	25	27	1	3	6.75	20.25
G2	25	27	1	3	6.75	20.25
H1	25	27	1	3	6.75	20.25
H2	25	27	1	3	6.75	20.25

Elaborado por: El autor.

**Tabla 38***Cuadro de vigas bloque 1.*

Cuadro de vigas bloque 1								
EJE	Nivel	Sección		Cuantía balanceada (%)	Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm <sup>2</sup> )	As max (cm <sup>2</sup> )
		b (cm)	h (cm)					
2	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
3	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
4	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
b	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
B	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
C	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
D	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13

*Nota.* La tabla muestra la distribución de las vigas a lo largo de cada uno de los ejes, sus dimensiones y la cantidad de acero. Elaborado por: El autor.

**Tabla 39***Cuadro de vigas bloque 2.*

Cuadro de vigas bloque 2								
EJE	Nivel	Sección		Cuantía balanceada (%)	Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm2)	As max (cm2)
		b (cm)	h (cm)					
1	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
2	+3.00	25	40	2.25	0.28	1.69	2.76	16.88
3	+3.00	25	40	2.25	0.28	1.69	2.76	16.88
A	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
B	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
C	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
D	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
E	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
F	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
G	+3.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
2	+6.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
4	+6.00	25	45	2.25	0.28	1.69	3.11	18.98
A	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
B	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
C	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
D	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
E	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
F	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
G	+6.00	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81

*Nota.* Se muestra en la tabla las vigas a lo largo de cada uno de los ejes, su sección y cantidad de acero. Elaborado por: El autor.

**Tabla 40***Cuadro de vigas bloque 3.*

Cuadro de vigas bloque 3								
EJE	Nivel	Sección		Cuantía balanceada (%)	Cuantía mínima (%)	Cuantía máxima (%)	As min (cm2)	As max (cm2)
		b (cm)	h (cm)					
1	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
2	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
3	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
4	+3.00	30	20	2.25	0.28	1.69	1.66	10.13
A	+3.00	35	40	2.25	0.28	1.69	3.86	23.63
B	+3.00	35	40	2.25	0.28	1.69	3.86	23.63
C	+3.00	35	40	2.25	0.28	1.69	3.86	23.63
D	+3.00	35	40	2.25	0.28	1.69	3.86	23.63
E	+3.00	35	40	2.25	0.28	1.69	3.86	23.63
3	+5.80	25	35	2.25	0.28	1.69	2.42	14.77
1	+7.50	25	38	2.25	0.28	1.69	2.62	16.03
A	+7.50	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
B	+7.50	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
C	+7.50	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
D	+7.50	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81
E	+7.50	20	35	2.25	0.28	1.69	1.93	11.81

*Nota.* La tabla las vigas a lo largo de cada uno de los ejes, su dimensión y la cantidad de acero. Elaborado por: El autor.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ESCUELA RAFAEL CRUZ CEVALLOS

#### 5.1 Normativa a usar

El análisis estructural de la edificación de la Escuela Rafael Cruz Cevallos, se lo realizará en cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de la construcción, en su capítulo de peligro sísmico NEC-SE-DS, que es la norma de construcción vigente para nuestro, se dará cumplimiento a todos los parámetros y consideraciones presentes en la misma.

#### 5.2 Cargas a considerar

##### 5.2.1 Carga Viva

Las cargas vivas o sobrecargas de uso, se refiere a las cargas debido al peso de los ocupantes, mobiliario, equipos y todos los pesos que se puedan trasladar. Las cargas se determinaron a partir del capítulo de cargas no sísmicas de la NEC, las cuales están ligadas al tipo de uso u ocupación de la edificación.

#### Tabla 41

*Carga Viva para Unidades Educativas.*

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )
<i>Aulas</i>	2.00
<i>Corredores segundo piso y superior</i>	4.00
<i>Corredores primer piso</i>	4.80

Elaborado por: El autor en base a (NEC-SE-CG, 2023)

##### 5.2.2 Peso propio

Para determinar el peso correspondiente a todos los elementos estructurales que conforman la edificación, se usará el peso específico del hormigón que tendrá un valor de 2.4 Ton/m<sup>3</sup>. El peso de la estructura será calculado por el programa estructural ETBAS V20.0.0, a partir de las

secciones de los elementos estructurales modelados en el programa y el peso específico del hormigón antes mencionado.

### 5.2.3 Carga muerta permanente

Se refiere al peso que aportan el resto de elementos que no forman parte de la estructura como: los acabados, mampostería, instalaciones, masillado, etc.

**Tabla 42**

*Carga muerta permanente.*

Elemento	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Mampostería:	150
Masillado (e = 2 cm):	88
Acabados :	44
Instalaciones:	20
Carga Total:	302

Elaborado por. El autor.

### 5.2.4 Carga sísmica

Es la carga generada por el sismo en la estructura, independientemente del cálculo se la obtiene a través del cortante basal, el mismo está en función de la carga reactiva de la estructura.

### 5.2.5 Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga para el análisis sísmico se encuentran en el apartado de Cargas y Combinaciones de Carga, en la NEC en su capítulo de peligro sísmico NEC-SE-DS, las mismas se muestran a continuación.

$$1.1 (D + 0.25L) + E$$

$$0.9 (D + 0.25L) + E$$

Donde:

D Carga Muerta.

L Carga Viva.

E Efectos de la fuerza sísmica.

Estas combinaciones de cargas que incluyen el efecto de la fuerza sísmica, se deben considerar tanto el sismo estático como el dinámico, en la dirección X considerando las excentricidades positivas y negativas, los mismo en dirección Y considerando las excentricidades positivas y negativas.

### ***5.2.6 Espectro de diseño***

Para realizar el espectro de diseño elástico e inelástico, vamos a utilizar todas las consideraciones y para metros establecidos en la NEC-SE-DS, el cual va a depender de zona sísmica que se tomara como objeto de estudio, el tipo de suelo, y la configuración estructural de la edificación a analizar.

La zona sísmica y el coeficiente de zona Z, se determinará de acuerdo al apartado 10.2 de la NEC-SE-DS pág. 102, que en este caso es para la ciudad de Quito, con un factor de zona Z igual a 0.4 g.

Los coeficientes del perfil de suelo, con el fin de garantizar una mayor exactitud, se tomarán los valores  $F_a$ ,  $F_e$  y  $F_s$ . del estudio de Microzonificación Sísmica de Quito de (Aguar, 2017). En dicho estudio establece los siguientes valores para el Barrio Asistencia Social, lugar donde se ubica la Escuela Rafael Cruz Cevallos.

$$F_a = 1.255$$

$$F_d = 1.105$$

$$F_a = 1.225$$

**Tabla 43**

*Valores para determinar el espectro de diseño.*

DATOS	
<b>Tipo de Suelo</b>	D
<b>Zona</b>	V
<b>Z</b>	0.4
<b>F<sub>d</sub></b>	1.255
<b>F<sub>a</sub></b>	1.105
<b>F<sub>s</sub></b>	1.225
<b>n</b>	2.48
<b>I</b>	1.30
<b>R</b>	8.00
<b>Φ<sub>e</sub></b>	1.00
<b>Φ<sub>p</sub></b>	1.00

*Nota.* Valores para el espectro de diseño inelástico con un coeficiente de reducción sísmica R igual a 8. Elaborado por: El autor.

**Tabla 44**

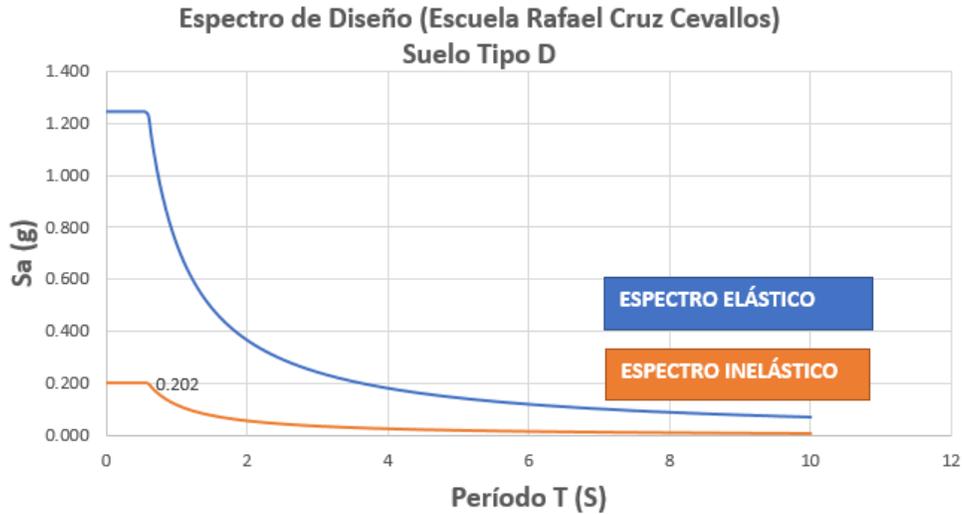
*Periodos de vibración límites.*

PERIODOS DE VIBRACIÓN	
<b>T<sub>c</sub></b>	0.593
<b>T<sub>L</sub></b>	2.652
<b>T<sub>0</sub></b>	0.108

*Nota.* Periodos de vibración usados en la construcción del espectro de diseño inelástico.  
Elaborado por: el autor.

**Figura 50**

*Espectro de diseño elástico e inelástico para porticos resistentes a momento con vigas perlatadas.*



*Nota.* Se muestra las gráficas para el espectro de diseño y el espectro de diseño reducido con un coeficiente R igual a 8, usado para el análisis sísmico. Elaborado por: el autor.

**Tabla 45**

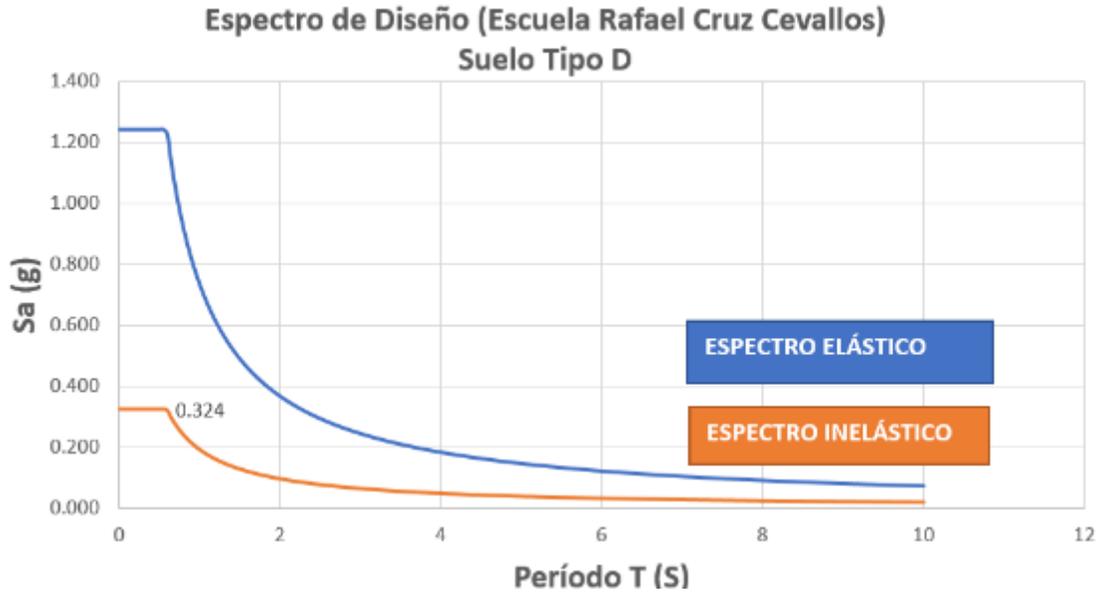
*Valores para determinar el espectro de diseño.*

DATOS	
<b>Tipo de Suelo</b>	D
<b>Zona</b>	V
<b>Z</b>	0.4
<b>Fd</b>	1.255
<b>Fa</b>	1.105
<b>Fs</b>	1.225
<b>n</b>	2.48
<b>I</b>	1.30
<b>R</b>	5.00
<b>Φe</b>	1.00
<b>Φp</b>	1.00

*Nota.* Valores para el espectro de diseño inelástico para un coeficiente de reducción sísmica R igual a 5. Elaborado por: El autor.

**Figura 51**

*Espectro de diseño elástico e inelástico para pórticos resistentes a momento con vigas banda.*



*Nota.* Se muestra las gráficas para el espectro de diseño y el espectro de diseño reducido con coeficiente R igual a 5, usado para el análisis sísmico. Elaborado por: el autor.

**5.2.7 Periodo de vibración**

Se calcula el periodo de vibración T a partir de la siguiente expresión.

$$T = C_t h_n^\alpha$$

**Tabla 46**

*Periodos de vibración.*

BLOQUE	COEFICIENTES QUE DEPENDEN DEL TIPO DE LA ESTRUCTURA		ALTURA h (m)	PERIODO DE VIBRACIÓN LA ESTRUCTURA	PERIODO DE VIBRACIÓN LÍMITE
	C <sub>t</sub>	α			
1	0.0055	0.90	6.60	0.0301	0.0391
2	0.0055	0.90	7.40	0.0333	0.0433
3	0.0055	0.90	7.60	0.0341	0.0444

*Nota.* Se muestra los periodos de vibración correspondiente a cada bloque de la edificación que se analizó. Elaborado por: El autor.

### 5.2.8 Cortante basal.

Para la determinación del cortante basal se lo hace a través de la siguiente expresión.

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

En función a los espectros de diseño presentados en la Figura 56 y figura 57, se determina la ordena de aceleración espectral para los diferentes bloques que se van a evaluar. A partir de ese valor se determinará el cortante basal para la edificación.

$$S_a = 1.245 \quad R = 8$$

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V = \frac{1.3 (1.245)}{8 * 1 * 1} W$$

$$V = 0.2023 W$$

$$S_a = 1.245 \quad R = 5$$

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V = \frac{1.3 (1.245)}{5 * 1 * 1} W$$

$$V = 0.3237 W$$

### 5.3 Modelado de las estructuras.

El modelado estructural, se realizó en ETABS V20.0.0 a partir de las secciones de los elementos estructurales, obtenidas de la información arquitectónica recogida durante las visitas técnicas a la institución. Las propiedades de los materiales usados y sus propiedades mecánicas se muestran a continuación.

#### 5.3.1 Características de los elementos de hormigón armado

- Resistencia a la compresión del hormigón armado ( $f'c$ ) = 20 Mpa
- Peso específico del hormigón armado ( $\rho_c$ ) = 24 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de Poisson del hormigón armado ( $\nu_c$ ) = 0.20
- Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ )

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 4700 * \sqrt{20 \text{ Mpa}}$$

$$E_c = 21019.038 \text{ Mpa}$$

- Módulo de rigidez al esfuerzo cortante del hormigón armado ( $G_c$ )

$$G_c = \frac{E_c}{2 * (\nu_c + 1)}$$

$$G_c = \frac{21019.038 \text{ Mpa}}{2 * (0.20 + 1)}$$

$$G_c = 8757.93 \text{ Mpa}$$

#### 5.3.2 Características de los elementos de acero

Esfuerzo de fluencia del Acero ( $F_y$ ) = 420 Mpa

Módulo de elasticidad del acero ( $E_s$ ) = 200000 Mpa

Esfuerzo a la tracción mínima ( $f_u$ )

$$f_u = 1.5 * f_y$$

$$f_u = 1.5 * 420 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 630 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo de fluencia esperado ( $f_{ye}$ )

$$f_{ye} = 1.1 * f_y$$

$$f_{ye} = 1.1 * 420 \text{ Mpa}$$

$$f_{ye} = 462 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo a la tracción esperado ( $f_{ue}$ )

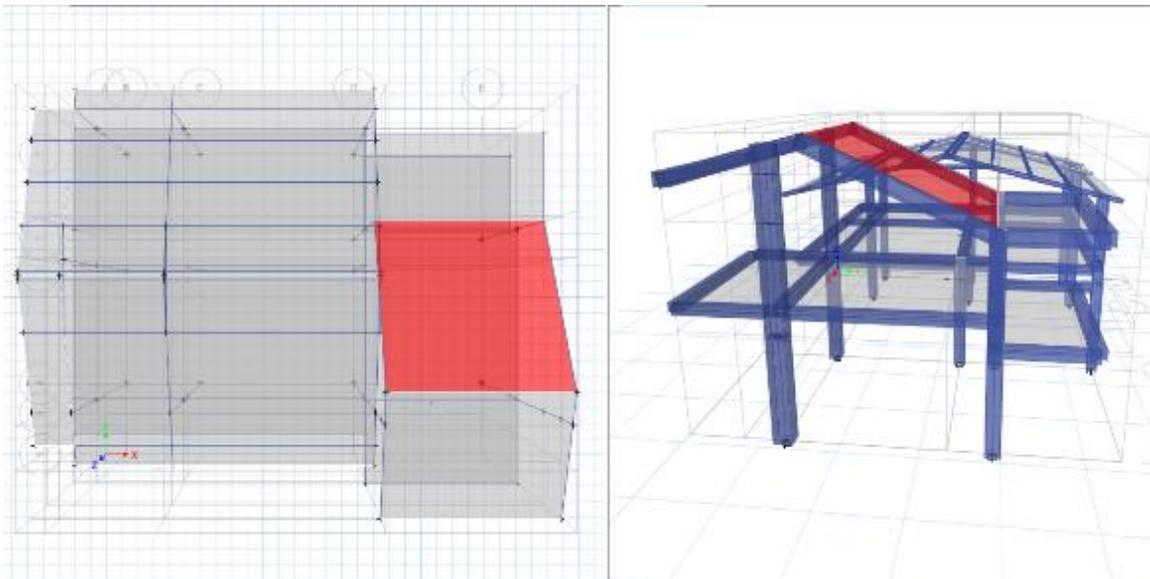
$$f_{ue} = 1.1 * f_u$$

$$f_{ue} = 1.1 * 630 \text{ Mpa}$$

$$f_{ue} = 693 \text{ Mpa}$$

### Figura 52

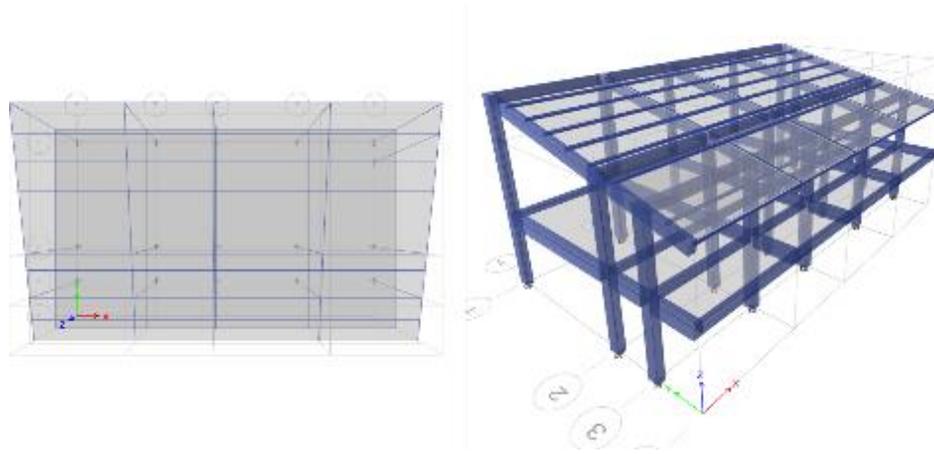
*Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 1.*



*Nota.* Modelado tridimensional de la edificación bloque 1 en ETABS. Fuente: El autor.

**Figura 53**

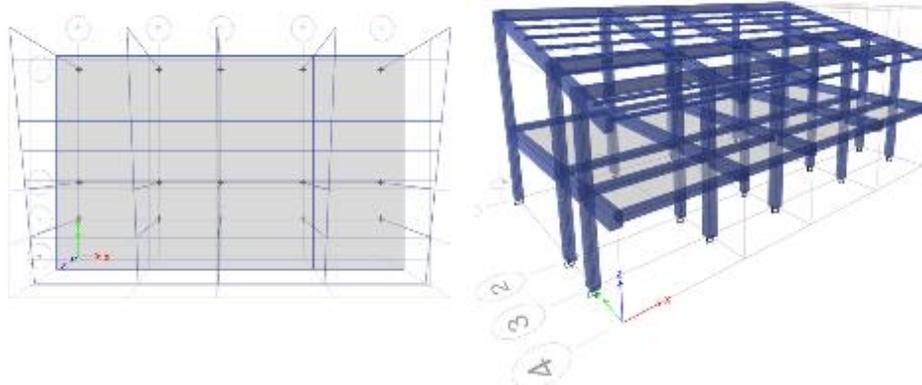
*Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 2.*



*Nota.* Modelado tridimensional de la edificación bloque 2 en ETABS. Fuente: El autor.

**Figura 54**

*Modelo Escuela Rafael Cevallos Bloque 3.*



*Nota.* Modelado tridimensional de la edificación bloque 3 en ETABS. Fuente: El autor.

#### **5.4 Análisis de resultados**

Para analizar la edificación de la escuela Rafael Cruz Cevallos, se dividió en bloques a la edificación, debido a que se encontraba constituida en diferentes etapas, con secciones y sistema estructurales diferentes.

El bloque principal que es el que alberga a toda la comunidad estudiantil en dos niveles, se procedió a dividirlo en tres bloques que serán analizados individualmente. El bloque cuatro corresponde a baterías sanitarias y bodegas que no representan un riesgo por lo cual no se lo considero para el análisis.

#### **5.4.1 Modos de vibración**

Una estructura puede vibrar de diferentes maneras al ser inducido a una carga dinámica, el analizar estos modos de vibración es parte fundamental un análisis sísmico, puesto que puede afectar en mayor o en menor medida. Estas cargas dinámicas provocan que las estructuras se desplacen o roten de acuerdo al modo de vibración, estos desplazamientos hacen que los elementos que constituyen la estructura se desgasten y sean más vulnerables.

##### **5.4.1.1 Bloque 1**

**Tabla 47**

*Modos de vibración bloque 1.*

<b>NÚMERO DE MODOS</b>	<b>PERIODO DE VIBRACIÓN (s)</b>	<b>FRECUENCIA (Hz)</b>
1	0.362	2.764
2	0.33	3.034
3	0.274	3.647
4	0.127	7.887
5	0.104	9.641
6	0.099	10.097
7	0.081	12.278
8	0.079	12.635
9	0.071	14.179
10	0.05	19.96
11	0.049	20.48
12	0.027	37.386

Elaborado por: El autor.

A continuación, se muestra en la Tabla 48, la participación modal de la masa de la estructura, siendo el primer modo de vibración, el que acumula mayor participación con el 97.77

% de participación de la masa de la estructura, presentando traslación en el sentido del eje Y, mientras que presenta torsión en el eje X con una participación de la masa de 9.06%.

**Tabla 48**

*Participación de masa en los modos de vibración del bloque 1.*

Número de Modos	X-TRANS %Masa	Y-TRANS %Masa	Z-TRANS %Masa	RX-ROTN %Masa	RY-ROTN %Masa	RZ-ROTN %Masa
Mode 1	0.05	97.77	0.00	9.06	0.00	1.02
Mode 2	97.79	0.09	0.00	0.01	10.29	0.45
Mode 3	0.40	0.96	0.00	0.05	0.34	97.01
Mode 4	1.32	0.00	0.00	0.00	51.36	0.00
Mode 5	0.00	0.59	0.00	33.87	0.07	0.11
Mode 6	0.00	0.43	0.00	38.85	0.04	0.45
Mode 7	0.01	0.16	0.00	17.11	0.20	0.34
Mode 8	0.24	0.00	0.00	0.21	17.91	0.48
Mode 9	0.16	0.00	0.00	0.00	17.67	0.14
Mode 10	0.03	0.00	0.00	0.00	1.76	0.00
Mode 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00
Mode 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: El autor.

Una vez determinados los modos de vibración de la estructura, procedemos a realizar el cálculo del cortante basal, cumpliendo con todos los parámetros establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Para dicho cálculo se empleará el peso de la estructura, el cual se determinó con la ayuda del software ETABS v.20.0.0.

**Tabla 49**

*Peso de la estructura bloque 1.*

CARGA	PESO (Ton).
PESO PROPIO	38.9033
CARGA MUERTA ADICIONAL	18.4611
W	57.36

*Nota.* La tabla muestra la carga muerta total de la estructura correspondiente al bloque 1, con la cual se determinará el cortante basal.

Procedemos al cálculo manual del cortante basal, a través de la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V = \frac{1.3 (1.245)}{8 * 1 * 1} (57.36 \text{ Ton})$$

$$V = 18.57 \text{ Ton}$$

**Tabla 50**

*Cortante basal bloque 1.*

CARGA	Tipo	Dirección	PESO (Ton)	Cortante Basal
<i>Sismo Ex</i>	Sísmica	X	54.6802595	17.70
<i>Sismo Ey</i>	Sísmica	Y	54.69879518	17.71

*Nota.* El cortante basal obtenido del software ETABS. Elaborado por: El autor.

El cortante basal obtenido de manera manual, cumpliendo con los parámetros obtenidos por la NEC, y el cortante basal obtenido a través del software ETABS, son valores similares, existe una diferencia del 4.7% lo cual es un valor aceptable.

#### 5.4.1.2 Bloque 2

**Tabla 51**

*Modos de vibración bloque 2.*

NÚMERO DE MODOS	PERIODO DE VIBRACIÓN (s)	FRECUENCIA (Hz)
1	0.321	3.116
2	0.299	3.342
3	0.277	3.614
4	0.192	5.218
5	0.151	6.642
6	0.139	7.199
7	0.123	8.154
8	0.117	8.572
9	0.114	8.794
10	0.108	9.252
11	0.104	9.618
12	0.102	9.84

Elaborado por: El autor.

**Tabla 52***Participación de masa en los modos de vibración del bloque 2.*

Número de Modos	X-TRANS %Masa	Y-TRANS %Masa	Z-TRANS %Masa	RX-ROTN %Masa	RY-ROTN %Masa	RZ-ROTN %Masa
Mode 1	83.65	0.00	0.00	0.00	20.41	0.56
Mode 2	0.00	82.92	0.00	24.01	0.00	0.00
Mode 3	0.25	0.00	0.00	0.00	1.52	82.57
Mode 4	14.06	0.00	0.00	0.00	39.89	0.11
Mode 5	0.00	0.68	0.00	1.56	0.00	0.00
Mode 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23
Mode 7	0.00	5.54	0.00	21.73	0.00	0.00
Mode 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	4.54
Mode 9	0.00	10.63	0.00	48.02	0.00	0.00
Mode 10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.27
Mode 11	0.00	0.24	0.00	1.26	0.00	0.00
Mode 12	0.08	0.00	0.00	0.00	3.38	8.52

Elaborado por: El autor.

**Tabla 53***Peso de la estructura bloque 2.*

CARGA	PESO (Ton)
PESO PROPIO	109.0977
CARGA MUERTA ADICIONAL	43.8016
W	152.90

*Nota.* La tabla muestra la carga muerta total de la estructura correspondiente al bloque 1, con la cual se determinará el cortante basal.

Procedemos al cálculo manual del cortante basal, a través de la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V = \frac{1.3 (1.245)}{8 * 1 * 1} (152.90 \text{ Ton})$$

$$V = 0.2023 (152.90 \text{ Ton})$$

$$V = 30.931 \text{ Ton}$$

**Tabla 54***Cortante basal bloque 2.*

<b>CARGA</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>PESO (Ton)</b>	<b>Cortante Basal</b>
<i>Sismo Ex</i>	Sísmica	X	147.276	29.794
<i>Sismo Ey</i>	Sísmica	Y	147.276	29.794

*Nota.* Cortante basal obtenido para el bloque 2, a través del software ETABS. Elaborado por: El autor.

### 5.4.1.3 Bloque 3

**Tabla 55***Modos de vibración bloque 3.*

<b>NÚMERO DE MODOS</b>	<b>PERIODO DE VIBRACIÓN (s)</b>	<b>FRECUENCIA (Hz)</b>
1	0.354	2.828
2	0.273	3.66
3	0.245	4.084
4	0.19	5.263
5	0.126	7.919
6	0.118	8.451
7	0.111	9.046
8	0.108	9.294
9	0.097	10.304
10	0.095	10.48
11	0.037	26.764
12	0.037	27.23

Elaborado por: El autor.

**Tabla 56***Participación de masa en los modos de vibración del bloque 3.*

Número de Modos	X-TRANS %Masa	Y-TRANS %Masa	Z-TRANS %Masa	RX-ROTN %Masa	RY-ROTN %Masa	RZ-ROTN %Masa
Mode 1	64.48	0.35	0.00	0.02	32.46	9.11
Mode 2	12.29	44.44	0.00	4.61	0.73	36.63
Mode 3	10.30	47.22	0.00	6.56	4.51	26.78
Mode 4	9.57	1.33	0.00	0.25	25.41	20.73
Mode 5	0.24	1.86	0.00	22.70	2.12	0.80
Mode 6	0.35	0.40	0.00	1.85	3.55	0.55
Mode 7	2.72	0.09	0.00	2.08	30.76	0.45
Mode 8	0.01	2.59	0.00	38.89	0.05	0.26
Mode 9	0.01	1.09	0.00	10.11	0.23	3.04
Mode 10	0.01	0.58	0.00	7.08	0.15	1.61
Mode 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mode 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: El autor.

**Tabla 57***Peso de la estructura bloque 3.*

CARGA	PESO (Ton)
PESO PROPIO	126.9010
CARGA MUERTA ADICIONAL	40.1056
W	167.01

*Nota.* La tabla muestra la carga muerta total de la estructura correspondiente al bloque 2, con la cual se determinará el cortante basal.

Procedemos al cálculo manual del cortante basal, a través de la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V_x = \frac{1.3 (1.245)}{5 \cdot 1 \cdot 1} (167.01 \text{ Ton})$$

$$V_y = \frac{1.3 (1.245)}{8 \cdot 1 \cdot 1} (167.01 \text{ Ton})$$

$$V_x = 0.3237 (167.01 \text{ Ton})$$

$$V_y = 0.2023 (167.01 \text{ Ton})$$

$$V_x = 54.0611 \text{ Ton}$$

$$V_y = 33.786 \text{ Ton}$$

**Tabla 58**

*Cortante basal bloque 3.*

CARGA	Tipo	Dirección	PESO (Ton)	Cortante Basal
<i>Sismo Ex</i>	Sísmica	X	148.694	48.132
<i>Sismo Ey</i>	Sísmica	Y	148.694	30.081

*Nota.* Cortante basal obtenido para el bloque 2, a través del software ETABS. Elaborado por: El autor.

#### **5.4.2 Derivas de piso**

De igual manera que se verifica los modos de vibración de la estructura, es de fundamental importancia, el hacer el cheque para las derivas de piso, que puedan presentar las estructuras ante un evento sísmico, tomando en consideración los parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para derivas inelásticas; establece que, el límite máximo para derivas de piso inelásticas no puede superar el 2% de la altura de piso.

A través del software ETABS V20.0.0 se determinó las derivas elásticas producto de las acciones sísmicas consideradas, a partir de estas se calculó las derivas inelásticas mediante la siguiente expresión establecida en la NEC-SE-DS.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Donde:

$\Delta_M$  Deriva máxima inelástica.

$\Delta_E$  Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R Factor de reducción de carga sísmica.

Se debe mencionar que las estructuras analizadas están constituidas por sistemas estructurales diferentes, siendo unas más dúctiles que otras. Por lo cual se consideraron distintos factores de reducción de la carga sísmica (R); por lo cual, se tomaron valores para R de 5 y 8, los

cuales intervienen en el cálculo del espectro de diseño inelástico, y por consiguiente en el cálculo de las derivas inelásticas  $\Delta_M$ .

#### 5.4.2.1 Bloque1

La deriva máxima elástica ( $\Delta_E$ ) obtenida para el bloque 1 fue de 0.003566, a partir de la cual se determinará la deriva inelástica ( $\Delta_M$ ).

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 5 * 0.003566$$

$$\Delta_M = 0.01337$$

$$\Delta_M = 0.01337 < 0.02$$

**Tabla 59**

*Derivas de piso bloque 1.*

NIVEL	DIRECCIÓN	CARGA	$\Delta$ ELÁSTICA	$\Delta$ INELÁSTICA	$\Delta$ LÍMITE 0.02
<b>STORY 2</b>	X	SEX	0.002124	0.007965	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SEX	0.00277	0.0103875	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	X	SDX	0.002473	0.00927375	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SDX	0.002906	0.0108975	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SEY	0.002476	0.009285	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SEY	0.003566	0.0133725	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SDY	0.002567	0.00962625	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SDY	0.0037	0.013875	CUMPLE

*Nota.* Se muestra la carga sísmica aplicada, la dirección y las correspondientes derivas de piso. Elaborado por: El autor.

#### 5.4.2.2 Bloque 2

La deriva máxima elástica ( $\Delta_E$ ) obtenida para el bloque 2 fue de 0.001405, valor con el cual se procede a calcular la deriva inelástica ( $\Delta_M$ ).

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.001405$$

$$\Delta_M = 0.00843$$

$$\Delta_M = 0.00843 < 0.02$$

**Tabla 60**

*Derivas de piso bloque 2.*

NIVEL	DIRECCIÓN	CARGA	Δ ELÁSTICA	Δ INELÁSTICA	Δ LÍMITE 0.02
<b>STORY 2</b>	X	SEX	0.000743	0.004458	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SEX	0.001244	0.007464	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	X	SDX	0.000815	0.00489	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SDX	0.00119	0.00714	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SEY	0.001215	0.00729	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SEY	0.001018	0.006108	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SDY	0.001405	0.00843	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SDY	0.000937	0.005622	CUMPLE

Elaborado por: El autor.

### 5.4.2.3 Bloque 3

La deriva máxima elástica ( $\Delta_E$ ) obtenida para el bloque 3 fue de 0.002016, valor con el cual se procede a calcular la deriva inelástica ( $\Delta_M$ ).

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.002016$$

$$\Delta_M = 0.012096$$

$$\Delta_M = 0.0012096 < 0.02$$

**Tabla 61***Derivas de piso bloque 3.*

NIVEL	DIRECCIÓN	CARGA	$\Delta$ ELÁSTICA	$\Delta$ INELÁSTICA	$\Delta$ LÍMITE 0.02
<b>STORY 2</b>	X	SEX	0.001581	0.00592875	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SEX	0.002103	0.00788625	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	X	SDX	0.004406	0.0165225	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	X	SDX	0.002229	0.00835875	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SEY	0.000644	0.003864	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SEY	0.001098	0.006588	CUMPLE
<b>STORY 2</b>	Y	SDY	0.001397	0.008382	CUMPLE
<b>STORY 1</b>	Y	SDY	0.001946	0.011676	CUMPLE

Elaborado por: El autor.

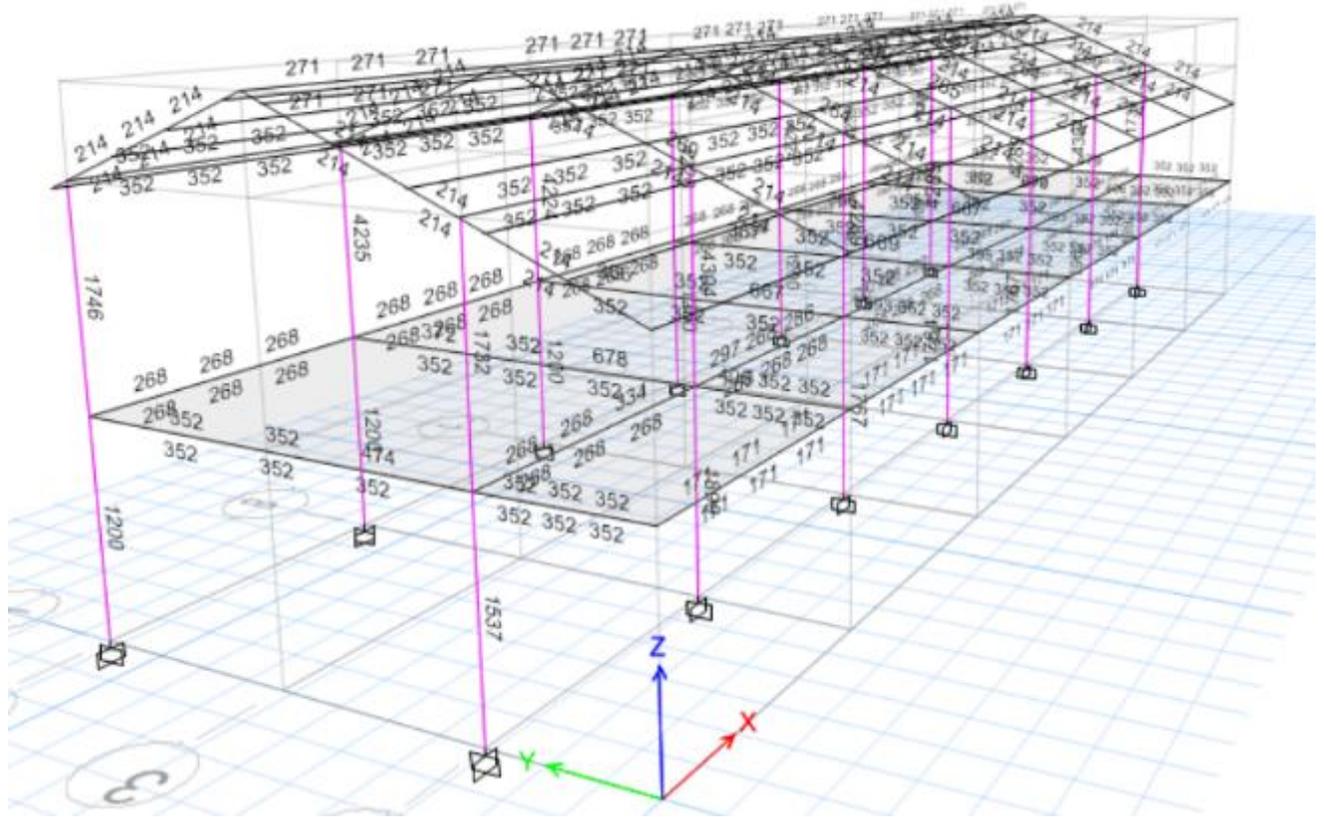
**5.5 Relación demanda capacidad D/C**

La relación demanda capacidad de las estructuras analizadas muestran un comportamiento adecuado bajo las solicitaciones para las cuales fueron evaluadas, en este caso se evaluaron para las combinaciones de carga que se mencionaron anteriormente en el apartado 5.2.5, las cuales son una combinación de cargas gravitacionales y cargas laterales (carga sísmica).



**Figura 56**

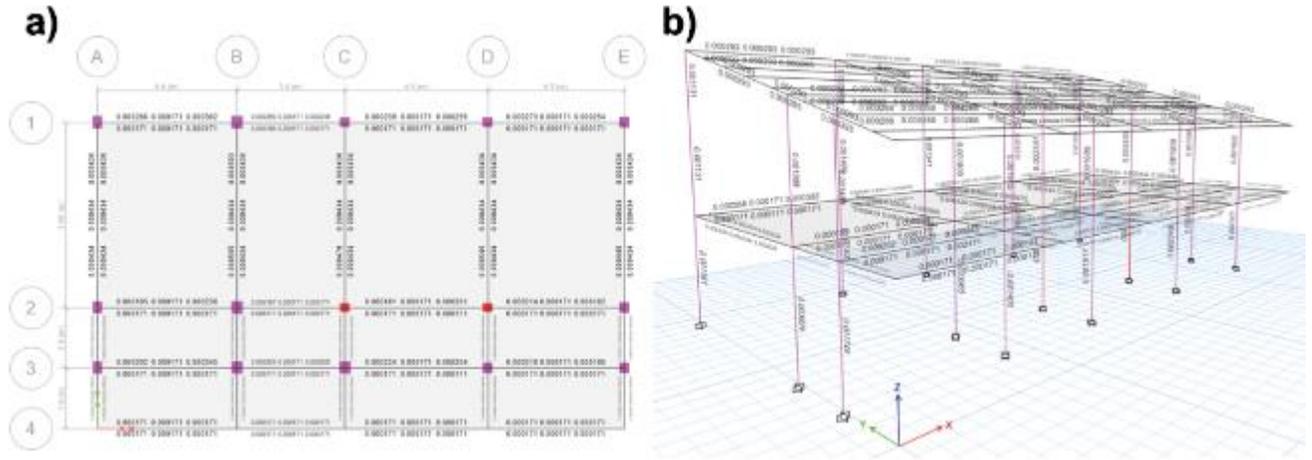
*Análisis de la estructura bloque 2.*



*Nota.* Se muestra en la figura que los elementos estructurales resisten ante las cargas solicitadas. Elaborado por: El autor.

**Figura 57**

*Análisis de la estructura bloque 3.*



*Nota.* a) Vista en planta. b) Vista en elevación. Elaborado por: El autor.

Como se muestra en la Figura 55, existen elementos que no resisten a las cargas a las cuales se sometió la estructura, las misma se muestran en la Tabla 5, que se muestra a continuación.

**Tabla 62**

*Elementos estructurales bloque 3 que fallaron.*

N°	SECCIÓN	NIVEL	UBICACIÓN	TIPO DE PROBLEMA
1	30 X 30 cm.	+3.00	C-2	La columna falla debido a que su sección es insuficiente para soportar las cargas que solicita la estructura (Flexo-compresión).
2	30 X 30 cm.	+3.00	D-2	La columna falla debido a que su sección es insuficiente para soportar las cargas que solicita la estructura (Flexo-compresión).

*Nota.* Se muestra la ubicación de los elementos estructurales que no resisten a las cargas solicitadas. Elaborado por: El autor.

## **CAPÍTULO VI**

### **REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL**

#### **6.1 Antecedentes**

Del análisis estructural realizado en el capítulo anterior, se obtuvo los resultados del comportamiento de las distintas estructuras que componen la edificación de la Escuela Rafael Cruz Cevallos. De dicho análisis se pudo conocer que algunos elementos estructurales requieren un reforzamiento, debido a que su capacidad de carga no es lo suficiente para resistir a las cargas solicitadas.

Los principales problemas en la estructura son:

Construcción y adaptación de espacios entre el bloque 2 y bloque 3, sin respetar normas de seguridad y calidad, el mismo presenta inestabilidad estructural, deflexiones excesivas en vigas, columnas discontinuas con sección variable e irregularidad vertical.

Construcciones con losas en voladizos excesivos, estructura inestable, presenta irregularidad vertical, efecto de columna corta.

Columnas a flexo-compresión del bloque 3, requieren un aumento de sección debido a que la sección actual no es lo suficiente para resistir las solicitaciones a las cuales se sometió la estructura.

#### **6.2 Medidas de rehabilitación**

Con los datos obtenidos del análisis estructural de los 3 bloques, se pudo identificar los elementos estructurales que no resisten las cargas a las cuales se solicitó la estructura. La adaptación sísmica de una estructura de hormigón, consiste en la adición de nuevos componentes estructurales que permitan el mejoramiento del desempeño sísmico de la estructura.

### **6.3 Alcance y limitaciones**

Las propuestas de reforzamiento estructural tienen como alcance tratar de mejorar el comportamiento de la estructura de ser posible, cumpliendo con parámetros de seguridad y calidad como los establecidos en la Norma Ecuatoriana de la construcción.

Las secciones rehabilitadas deben presentar un comportamiento adecuado ante eventos sísmicos, con la finalidad de salvaguardar la vida de sus ocupantes, y evitar pérdidas económicas producto de daños estructurales o del colapso de la estructura, ante dichas eventualidades.

Este apartado se limita a proponer alternativas que pueden tomarse en cuenta para la rehabilitación y reforzamiento de la estructura, se debe tomar en cuenta también la viabilidad desde la parte técnica y económica.

### **6.4 Consideraciones**

Se debe tomar en cuenta ciertos aspectos que influirán en el reforzamiento de las estructuras que lo requieran.

- Se busca conseguir un mejoramiento del comportamiento de la estructura, tomando en cuenta la parte técnica y económica.
- La técnica de rehabilitación estructural debe realizarse sin afectar o inhabilitar al resto de los espacios que no serán intervenidos.
- Se priorizará la integridad estructural de las edificaciones, y la seguridad de sus ocupantes.

### **6.5 Alternativa de reforzamiento**

Las secciones que presentan problemas, son las columnas C2 y D2 del bloque 3, las mismas presentan fallas por flexo-compresión, por lo cual se debe aumentar su sección, con la finalidad

que pueda soportar las cargas a las cuales está siendo solicitada. Por lo antes mencionado la mejor opción es el recrecido de hormigón.

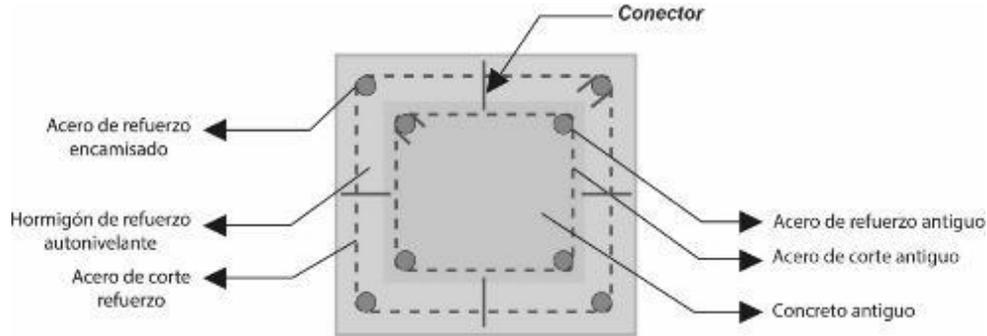
### ***6.5.1 Recreido de hormigón***

Las columnas son elementos estructurales que se someten a carga axial y momento flector, por ello deben diseñarse a flexo-compresión, este tipo de elementos al no resistir las cargas solicitantes a las que se somete la edificación, se puede optar por aumentar su sección a través de un recrecido de hormigón, el cual para su cálculo se considera como un elemento monolítico, por lo cual se debe diseñar la nueva sección de la columna en base a las cargas solicitantes, así como también la cantidad de acero que se debe adicionar al elemento.

Al considerar que la columna reforzada es monolítica una vez reforzada, se debe analizar nuevamente bajo todos los parámetros que establece La Norma Ecuatoriana de la Construcción. Para determinar la nueva sección de la columna se sugiere que el recrecido de hormigón sea de al menos 10 centímetros si el hormigón que se va a utilizar es fabricado en obra, mientras que en caso de usar hormigón proyectado el recrecido será de 4 centímetros, se recomienda también que la dimensión de la columna nueva con la antigua tenga una relación de al menos 0.4. (Moreta, 2015)

**Figura 58**

*Encamisado de columna.*



*Nota.* Se muestra el esquema de encamisado de una columna de hormigón armado.

Elaborado por: El autor.

Las columnas que requieren un aumento de sección son las que se ubican en los ejes C-2 y D-2 como se muestra en la Figura 55. A continuación se muestra un cuadro con su información.

**Tabla 63**

*Columnas a reforzar.*

COLUMNA	EJE	SECCIÓN		ρ 1% cm <sup>2</sup>	SOLICITACIONES	
		b (m)	h (m)		CARGA AXIAL (Ton)	MOMENTO (Ton-m)
1	C-2	0.3	0.3	9	23.4071	4.7316
2	D-2	0.3	0.3	9	25.4114	5.4494

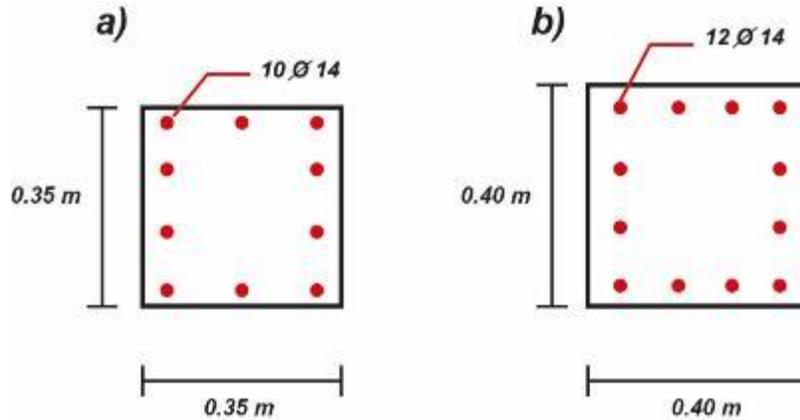
*Nota.* Se muestra las columnas y las cargas para las cuales están siendo analizadas.

Elaborado por: El autor.

Debido a que las columnas que están fallando tienen dimensiones de 30 cm por lado, se plantea que las nuevas secciones tengan una medida de 35 cm por lado, una segunda opción sería secciones de 40 cm por lado.

## Figura 59

Sección de columnas a reforzar.

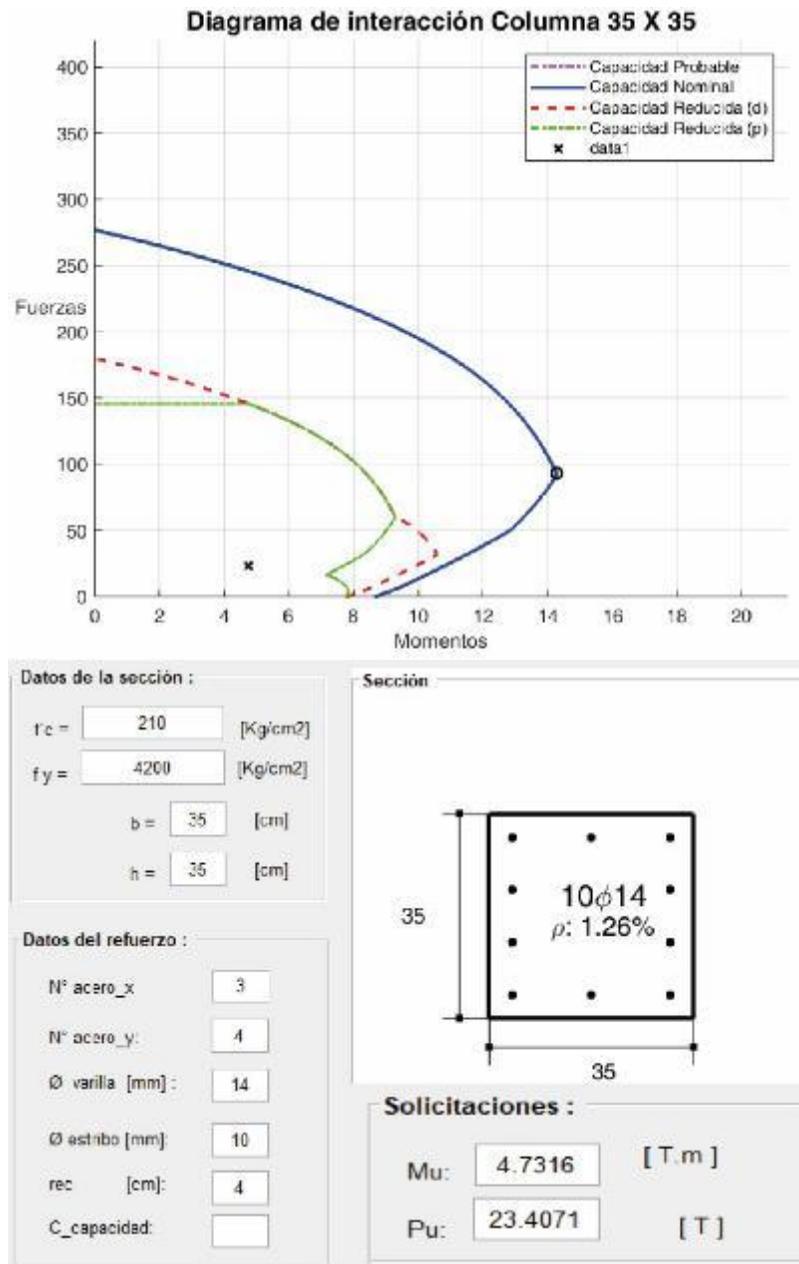


*Nota.* Se muestra las propuestas de configuración geométrica y distribución de acero para reforzar las columnas. Elaborado por: El autor.

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 62, se conoce las fuerzas axiales y de momento flector que se están aplicando a las columnas, tomando en cuenta dichas fuerzas procedemos a realizar los diagramas de interacción para las dos secciones propuestas. Los diagramas de interacción nos mostraran si los elementos propuestos resisten a las cargas solicitantes.

**Figura 60**

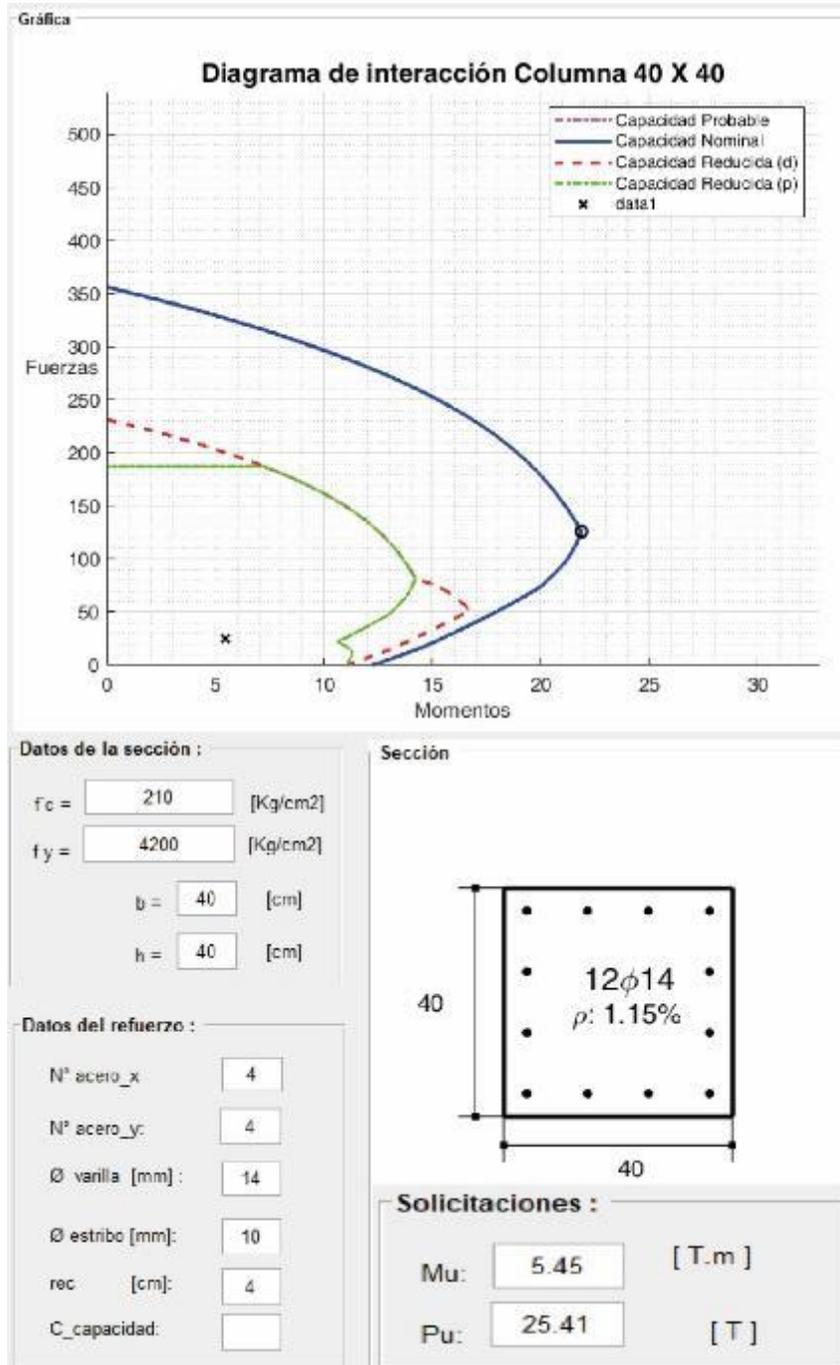
*Diagrama de interacción columna 35 cm x 35cm.*



*Nota.* Las cargas a las que están sometidas las columnas, se encuentran dentro del diagrama de interacción de la columna.

**Figura 61**

*Diagrama de interacción columna 40 cm x 40 cm.*



*Nota.* Las cargas a las que están sometidas las columnas, se encuentran dentro del diagrama de interacción de la columna.

Como se pudo observar tanto en la Figura 58 y Figura 59, los diagramas de interacción muestran que las columnas resisten a las solicitaciones a las cuales van a ser sometidas, por lo cual se procede a elegir la sección de columna con la cual se procederá a analizar la estructura.

Con el fin de optimizar recursos tanto en mano de obra como en materiales, la opción más adecuada es la columna de 35 cm x 35 cm; sin embargo, en base a las recomendaciones mencionadas anteriormente, el recrecido mínimo que se debe adoptar es de 10 cm, por lo cual la sección a utilizar será de 40 cm x 40 cm, esto con el fin de garantizar un recubrimiento adecuado y una separación entre la columna antigua y el acero longitudinal con el que se reforzará la misma.

### ***6.5.2 Análisis de la estructura rehabilitada***

Con las secciones definidas se procede a modelar la estructura realizando el aumento de las columnas que presentaban problemas, a partir del análisis sísmico procedemos a verificar que cumpla con todos los parámetros establecidos en la NEC.

Procedemos con el cálculo de los modos de vibración de la estructura rehabilitada.

**Tabla 64**

*Modos de vibración bloque 3 reforzado.*

<b>NÚMERO DE MODOS</b>	<b>PERIODO DE VIBRACIÓN (s)</b>	<b>FRECUENCIA (Hz)</b>
1	0.342	2.923
2	0.257	3.894
3	0.237	4.22
4	0.188	5.311
5	0.125	8.009
6	0.118	8.476
7	0.11	9.131
8	0.107	9.348
9	0.097	10.313
10	0.095	10.495
11	0.037	26.764
12	0.037	27.232

Elaborado por: El autor.

**Tabla 65**

*Participación de masa en los modos de vibración del bloque 3 reforzado.*

Número de Modos	X-TRANS %Masa	Y-TRANS %Masa	Z-TRANS %Masa	RX-ROTN %Masa	RY-ROTN %Masa	RZ-ROTN %Masa
Mode 1	57.86	0.17	0.00	0.01	36.94	11.65
Mode 2	18.86	25.97	0.00	3.35	0.68	46.61
Mode 3	7.56	64.67	0.00	10.31	1.91	15.04
Mode 4	11.56	0.95	0.00	0.16	23.48	19.54
Mode 5	0.31	2.35	0.00	18.75	2.32	0.99
Mode 6	0.34	0.43	0.00	1.49	2.88	0.57
Mode 7	3.45	0.08	0.00	1.28	31.25	0.40
Mode 8	0.00	3.51	0.00	41.21	0.01	0.44
Mode 9	0.03	1.11	0.00	9.62	0.29	2.94
Mode 10	0.02	0.73	0.00	7.99	0.20	1.78
Mode 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mode 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: El autor.

De la Tabla 65, podemos acotar que la mayor parte de masa participante de la estructura se encuentra en modo 1, así mismo constatamos que es el periodo fundamental, debido a que presenta menor frecuencia.

Procedemos a determinar el cortante basal para la estructura reforzada, para ellos usaremos los datos que nos otorga el software ETABS V 20.0.0.

**Tabla 66**

*Peso de la estructura bloque 3 reforzado.*

CARGA	PESO (Ton)
PESO PROPIO	127.8141
CARGA MUERTA ADICIONAL	40.1056
W	167.92

Elaborado por: El autor.

Procedemos al cálculo manual del cortante basal, a través de la siguiente expresión:

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W$$

$$V_x = \frac{1.3 (1.245)}{5 * 1 * 1} (167.92 \text{ Ton})$$

$$V_y = \frac{1.3 (1.245)}{8 * 1 * 1} (167.92 \text{ Ton})$$

$$V_x = 0.3237 (167.92 \text{ Ton})$$

$$V_y = 0.2023 (167.92 \text{ Ton})$$

$$V_x = 54.335 \text{ Ton}$$

$$V_y = 33.97 \text{ Ton}$$

**Tabla 67**

*Cortante basal bloque 3 reforzado.*

CARGA	Tipo	Dirección	PESO (Ton)	Cortante Basal
<i>Sismo Ex</i>	Sísmica	X	149.103	48.265
<i>Sismo Ey</i>	Sísmica	Y	149.103	30.164

*Nota.* Cortante basal obtenido para el bloque 3 después de ser reforzado, obtenido a través del software ETABS. Elaborado por: El autor.

Procedemos con el cálculo de las derivas de piso de acuerdo a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en la cual se establece como límite el 2% de las revisas de piso inelásticas.

Para este caso la deriva de piso máxima inelástica fue de  $\Delta_M$  0.01029, la cual se determinó a partir de la deriva elástica, por lo cual la estructura cumple con los desplazamientos máximos permitidos.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

$$\Delta_M = 0.75 * 8 * 0.001715$$

$$\Delta_M = 0.01029$$

$$\Delta_M = 0.01029 < 0.02$$



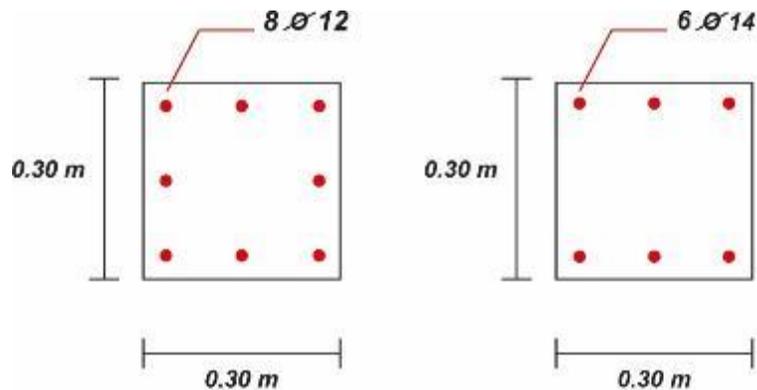
De acuerdo a la información mostrada en la Tabla 67, se puede ver que el comportamiento estructural es adecuado y cumple con los parámetros establecidos en la NEC-15.

Una vez que se verificó que la sección seleccionada es la ideal se procede a realizar el cálculo de acero y hormigón con el que se reforzara la columna. La columna antigua, el recrecido de hormigón y el acero de refuerzo, actuaran como un elemento monolítico.

Las columnas antes de ser reforzadas tienen dimensiones de 30 cm por 30 cm, se asume que cuenta con la cuantía mínima del 1%, por lo cual la cantidad de acero longitudinal es de  $9 \text{ cm}^2$ , correspondiente a 6 varilla de 14 milímetros, o a 8 varillas de 12 milímetros.

### Figura 63

*Columna a ser reforzada.*



*Nota.* Se muestra la sección de la columna y la distribución de acero longitudinal, correspondiente al 1% y 1.02%. Elaborado por: El autor.

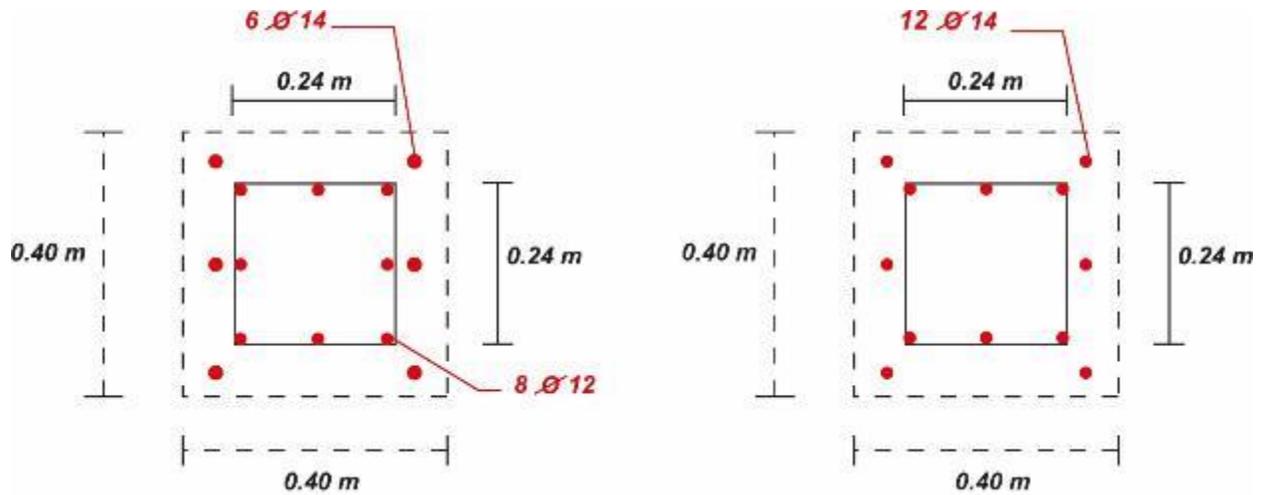
De acuerdo a al diagrama de interacción presentado en la Figura 60, se muestra la cantidad de acero que deber tener la columna una vez realizado el recrecido, en este caso es de  $18.47 \text{ cm}^2$ , correspondientes a 12 varillas de acero de 14 milímetros de diámetro.

Para realizar el recrecido de hormigón se debe remover el recubrimiento de las columnas, hasta llegar a los estribos o acero de corte, es decir se reducirá la sección de la columna, para

posteriormente colocar el acero longitudinal de refuerzo; por lo cual, se debe descubrir la columna desde la losa hasta la cimentación.

### Figura 64

*Columna recrecida de hormigón.*



*Nota.* Se muestra la reducción de la columna a reforzar, y la distribución de acero con la cual se reforzará la columna. Elaborado por: El autor.

## **6.6 Edificaciones que no se pueden rehabilitar**

La construcción informal que se encuentra ubicada entre el bloque 2 y bloque 3 antes descritos, correspondientes a las aulas número 4 y 11, muestra una gran cantidad de patologías estructurales, que comprometen su estabilidad, y el comportamiento del bloque 2, pone en riesgo la seguridad de sus ocupantes. Esta adecuación se realizó sin respetar criterios de diseño sismo resistente, en la sección 4.3, se menciona una lista con todas las problemáticas que presenta este espacio.

## CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que el inicio de la construcción de la institución evaluada, se dio en el año 1984, con el código de construcción vigente en esa época, las estructuras cumplían con lo estipulado; sin embargo, las ampliaciones y construcciones que se fueron ejecutando con el pasar de los años al no existir un control de las mismas que satisfagan criterios de diseño sísmico, son el principal factor de riesgo en las estructuras analizadas.

Al no contar con información documentada acerca de las construcciones que se iban a evaluar, fue de vital importancia la recolección de información a través de visitas técnicas al interior de la institución, en las que se pudo observar las patologías estructurales que presentaban ciertas estructuras, así como también se pudo identificar los sistemas estructurales presentes en esas construcciones, lo cual ayudo durante el proceso del análisis sísmico.

La mayor problemática que enfrenta las distintas estructuras pertenecientes a la institución educativa, se deriva de construcciones y ampliaciones de espacios que no contaron con la planificación, diseño y supervisión de un profesional de la construcción, volviéndose vulnerables al no respetar parámetros mínimos de calidad y seguridad, y criterios estructurales adecuados.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis sísmico, se puede concluir que las estructuras que tuvieron el seguimiento, planificación, diseño y construcción de parte entes reguladores como el DINSE, y que respetaron los códigos de diseño vigentes, muestra un buen comportamiento ante cargas sísmicas.

En base al análisis sísmico realizado, se pudo identificar elementos estructurales que no tenían la capacidad para soportar las solicitaciones a las cuales fueron sometidas, por lo que se considera medidas rehabilitación que consisten en el reforzamiento estructural de dichos

elementos. Se debe recalcar que el análisis sísmico considera combinaciones de carga, en las cuales se analiza para el escenario más desfavorable.

Luego de considerar el reforzamiento de los elementos estructurales que lo requerían, se modeló y analizó la estructura, dando como resultado un comportamiento adecuado ante las solicitaciones de carga para las cual se analizó.

De acuerdo a la información obtenida y procesada, es evidente el riesgo que presentan las construcciones y adecuaciones realizadas sin supervisión, por lo mismo se identificó zonas que no es factible su rehabilitación o reforzamiento, debido a la inestabilidad estructural que presentan; por lo cual, la mejor opción es inhabilitar esos espacios para su posterior intervención.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda en lo posible a corto plazo, eliminar la mayor cantidad de peso del aula número 11, debido a que sobre la losa de piso se apoyan perfiles metálicos que transfieren el peso de la losa de techo, esto está generando deflexión y punzonamiento a la losa de piso sobre la cual se apoyan, se debe mencionar también que la misma presenta deflexiones y fisuras que se extienden por debajo de dichos perfiles metálicos.

Se recomienda a largo plazo, eliminar la zona adecuada para las aulas número 4 y 11, debido a la gran cantidad de patologías estructurales que presentan, las mismas no son elegibles para reforzar y rehabilitar, por lo cual representa un peligro para sus ocupantes y estructuras aledañas durante un evento sísmico.

Si se considera las propuestas de rehabilitación detalladas en este documento, y se cambia el tipo de uso para el cual fue destinada la edificación, o se requieren realizar nuevas ampliaciones, se recomienda tomarlo como referencia y realizar un estudio mucho más profundo, que abarque las nuevas consideraciones.

Se recomienda detallar y documentar todas y cada una de las intervenciones que se realicen en la institución, esto aporta a futuras evaluaciones y supervisiones que se realicen en la institución, con el fin de mitigar efectos adversos y tomar medidas correctivas oportunas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Falconí, R. (2017). *Microzonificación de Quito*. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.  
<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21367>
- Alfonso, V. (2010). *El Riesgo Sísmico en Quito Análisis y simulaciones*. Hirizon Pleins Textes.  
[https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-12/010053328.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-12/010053328.pdf)
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J., Lagreulet, S., y Segovia, M. (2014). *Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. Tectonics*. Hal Science. <https://hal.science/hal-00991494>
- Cevallos Veintimilla, A. F., Polo Luna, E. F., Salgado Chasipanta, D. J., y Orbea Vergara, M. S. (2017). *MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN*. COMPAS.  
<http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/498/3/metodolog%C3%ADa.pdf>
- CONCEPTO. (2021). *Concepto de sismos y fuentes*. Concepto. <https://concepto.de/sismo/>
- CONCEPTO. (2023). *Cinturón de Fuego del Pacífico*. CONCEPTO.  
<https://concepto.de/cinturon-de-fuego-del-pacifico/>
- CYPE. (2020). *Irregularidades en edificaciones: irregularidad de piso blando*. Cype Perú.  
<https://www.cype.pe/blog/irregularidad-edificaciones-de-piso-blando/>
- ECP. (2017). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Entidad Colaboradora de Proyectos ECP.  
[https://www.ecp.ec/wpcontent/uploads/2017/08/GUIA\\_5.pdf](https://www.ecp.ec/wpcontent/uploads/2017/08/GUIA_5.pdf)

- ek4. (2021). *Proceso de reparación y reforzamiento de estructuras*. ek4 diseño y construcción.  
<https://ek4.com.mx/instalacion-especializada/reforzamiento-estructural/proceso-reparacion-y-reforzamiento-estructuras/>
- EPN. (2022). *Preguntas frecuentes de los sismos*. Instituto Geofísico EPN.  
[https://www.igepn.edu.ec/component/fsf/?view=faq&catid=2#:~:text=Los%20sismos%20se%20originan%20en,pruebas%20nucleares\)%2C%20entre%20otras.](https://www.igepn.edu.ec/component/fsf/?view=faq&catid=2#:~:text=Los%20sismos%20se%20originan%20en,pruebas%20nucleares)%2C%20entre%20otras.)
- Estrada, K., y Vivanco, N. (2019). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DEL REFORZAMIENTO DE UNA VIVIENDA DE TRES PISOS UBICADA EN EL NORTE DE QUITO - ECUADOR* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Nacional]. Repositorio digital EPN.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20314?mode=full>
- Grado 7. (2020). *Espectros de Diseño*. Grado 7 ESTUDIOS SÍSMICOS.  
<https://www.grado7.mx/espectros-de-diseno/>
- Ingcivil. (2012). *Losas de hormigón armado*. Ingcivil. <https://ingcivil.org/losas-de-hormigon-armado/>
- Instituto Geofísico EPN. (2016). *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>
- Lifeder. (2021). *Corrientes de Convección*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/corrientes-de-conveccion/>

- Mapa Owje. (2013). *Microzonificación sísmica de los suelos del distrito metropolitano de Quito 1988*. Mapa Owje. [https://mapas.owje.com/14746\\_microzonificacion-sismica-de-los-suelos-del-distrito-metropolitano-de-quito-1988.html](https://mapas.owje.com/14746_microzonificacion-sismica-de-los-suelos-del-distrito-metropolitano-de-quito-1988.html)
- Maxacero. (2023). *Losa reticular: 7 ventajas y desventajas guía de construcción actualizada*. Maxacero. <https://maxacero.com/blog/losa-reticular-7-ventajas-y-desventajas-guia-de-construccion/>
- MIDUVI. (2020). *Manual de procedimiento administrativo y técnico para la evaluación de las edificaciones de propiedad del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. habitatyvivienda. [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/0.-Manual\\_procedimiento\\_evaluacio%CC%81n\\_edificaciones\\_MIDUVI.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/0.-Manual_procedimiento_evaluacio%CC%81n_edificaciones_MIDUVI.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2023). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION.pdf>
- Moreta, J. (2015). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL FEMA 154 DEL NEC Y PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DEL CENTRO EDUCATIVO JUAN PABLO I DEL D.M.Q.* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5295>
- NEC-SE-CG. (01 de Marzo de 2023). *Cargas no Sísmicas*. Habita y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>

NEC-SE-DS. (Diciembre de 2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*.

Ministerio de Hábitad y Vivienda. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

OCRE. (Marzo de 2023). *¿Qué son las losas Reticulares?* OCRE. <https://ocrearq.com/que-son-las-losas-reticulares/>

Paz, E. (2012). *PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECTROS SÍSMICOS PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio digital USAC.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3486\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3486_C.pdf)

SGM. (2017). *Tectónica de Placas*. Instituto Geológico Mexicano.

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>

SGM. (2022). *Deriva Continental*. Servicio Geológico Mexicano.

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Deriva-continental.html>

Sika. (2016). *Concreto, reforzamiento de estructuras de concreto, tecnicas y materiales*. Sika.

<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/e28ca587-f9f9-3a7b-a7b8213d78a63fa9/Folleto%20Reforzamiento%20Estructuras%20de%20Concreto%202017-1.pdf>

UNAM. (Septiembre de 2016). *La Teoría de la Tectónica de Placas y la Deriva Continental*.

Instituto de Geología Universidad Autónoma de México.

<https://www.geologia.unam.mx/contenido/la-teoria-de-la-tectonica-de-placas-y-la-deriva-continental>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica. (2023). *Encamisado de concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una dirección*. Universidad

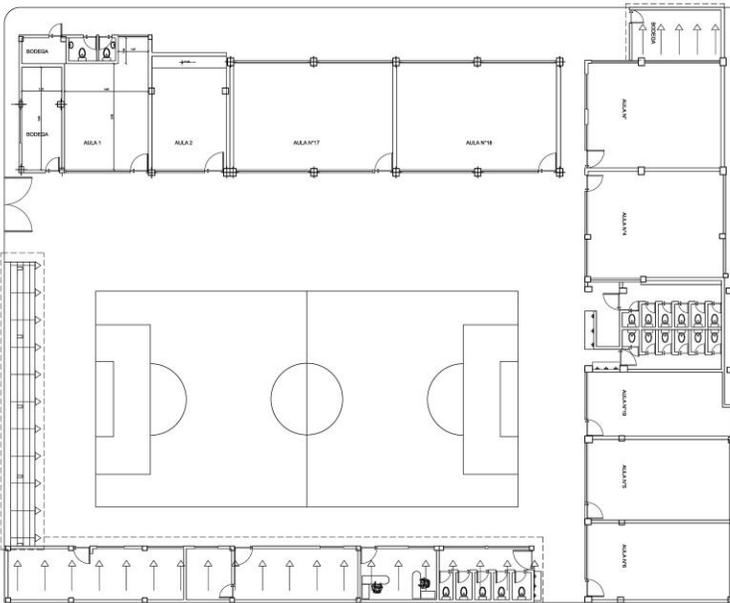
Distrital Francisco José de Caldas.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13328/GiraldoVargasMiguel?sequence=2>

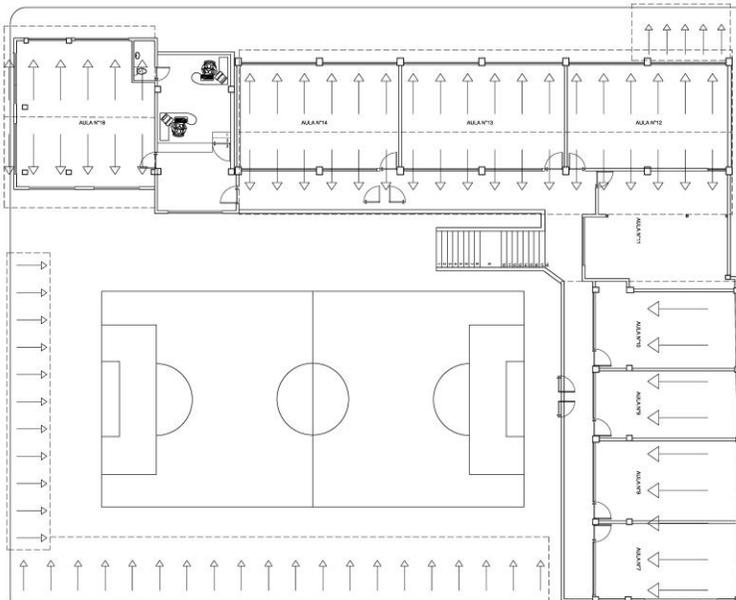
## **ANEXOS**

**ANEXO 1:**

**Planos arquitectónicos de la Escuela de Educación Básica Rafael Cruz Cevallos.**



PLANTA BAJA  
ESCALA 1:100



PLANTA ALTA  
ESCALA 1:100



UBICACION  
Comuna: Dapunta  
Parroquia: Quilinda  
Sector: Avenida N°104

PROYECTO  
Plan de Regulación Educativa  
Fiscal para el Ciclo Escolar 2023

AUTORES  
Est. Llanín Díaz

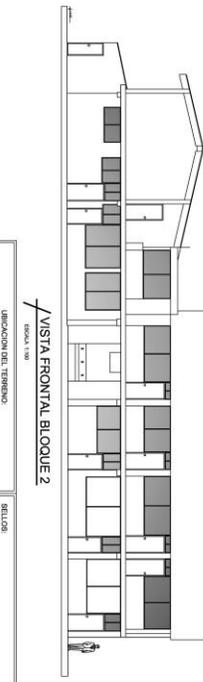
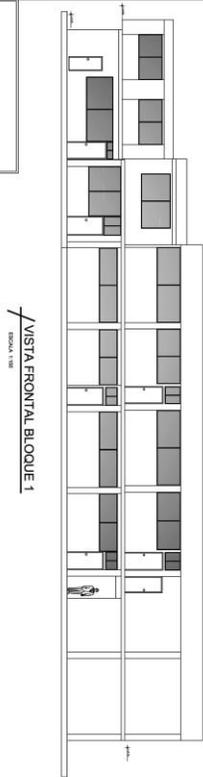
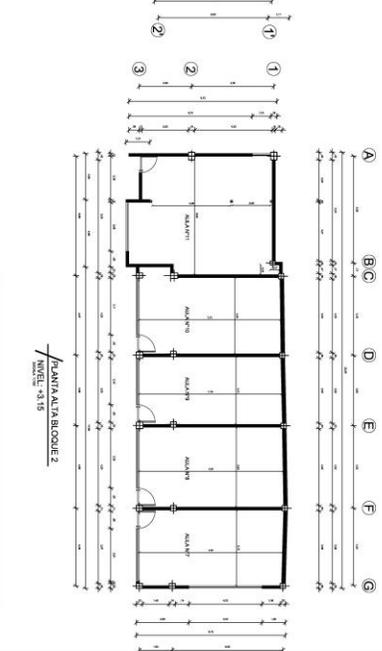
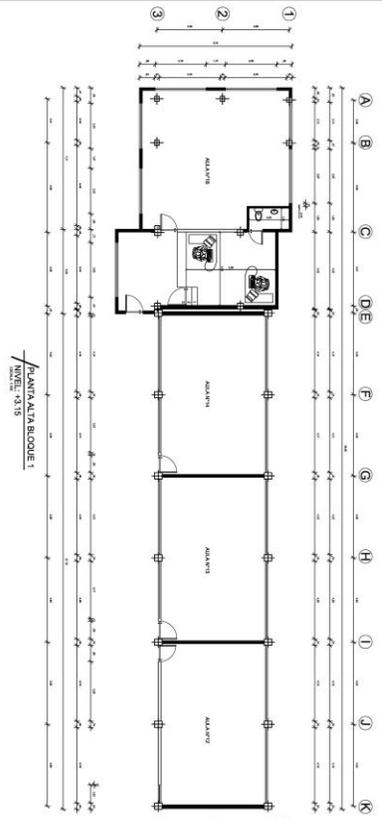
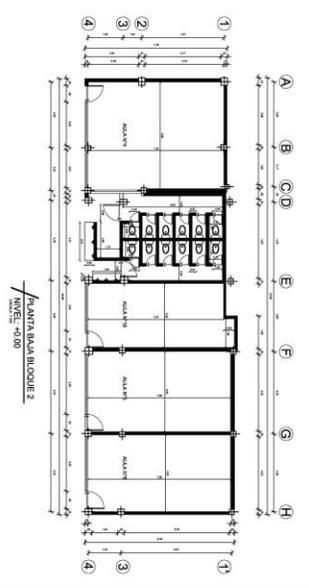
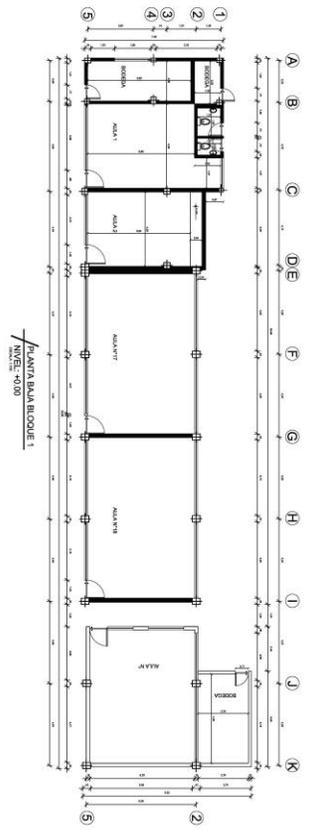
APROBACION

CONTENIDO  
PLANTAS

ESCALA	ESCALA	LÁMINA	TÍTULO
1:100	1:100	13	A1



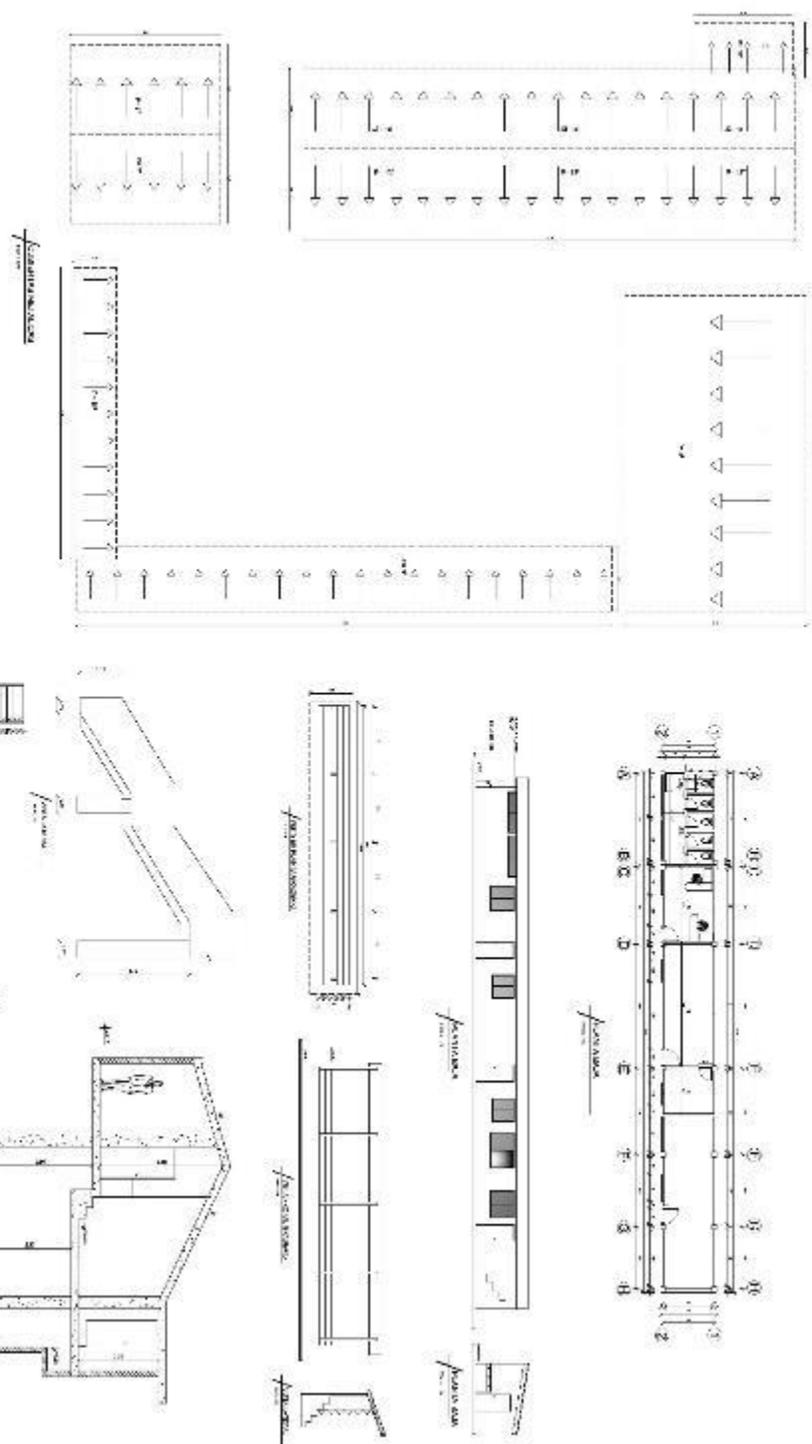
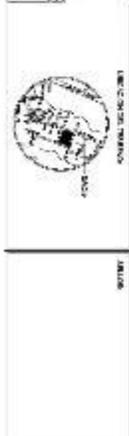
UBICACION DEL TERRENO



<b>UBICACION</b> Provincia: Pinar del Rio Municipio: Ometepe Barrio: Americana Road		<b>PROYECTO</b> Planos Arquitectonicos Escuelas Finca Pinar del Rio Ometepe	
<b>ALTORE</b> Est. Lanu Oca		<b>APROBACION</b> _____	
<b>CONTENIDO</b> PANTIA VISTAS		<b>ESCALA</b> / <b>FECHA</b> / <b>LIBRADO</b> / <b>TRAMITE</b> 1:50 / OCT 2015 / A1	
<b>UBICACION DEL TERRENO</b> 		<b>BELLOS</b>	



PROYECTO	FECHA	ESTADO	PROYECTISTA
CONSTRUCCION DE UN CENTRO DE ATENCION A LA COMUNIDAD EN EL CANTON DE...	...	...	...
PROYECTO	FECHA	ESTADO	PROYECTISTA
...	...	...	...
PROYECTO	FECHA	ESTADO	PROYECTISTA
...	...	...	...



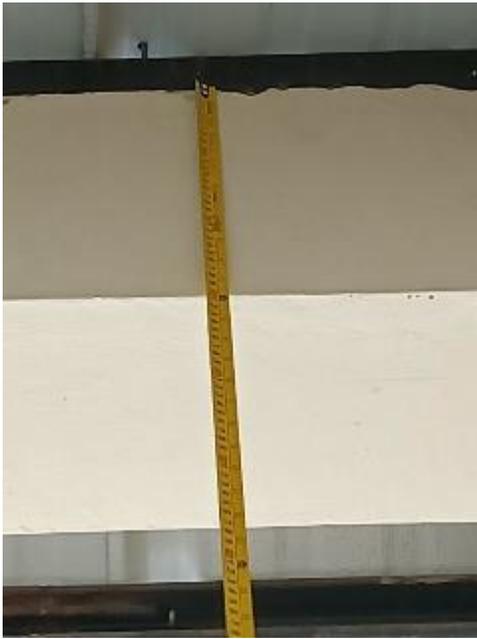
**ANEXO 2:**  
**Registro fotográfico.**

## Fotos del inmueble





**Levantamiento de información arquitectónica**



## Patologías estructurales









**ANEXO 3:**  
**INFORME UNIDAD DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS.**

**INFORME UNIDAD DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS**

DATOS GENERALES			
Fecha de Elaboración de Informe	11 DE ABRIL DE 2023	NO. DE INFORME	17D07-GR-2023-001
Provincia	PICHINCHA	ZONA	5
Cantón	QUITO	DISTRITO	17D07 "QUITUMBE"
Parrquia	QUITUMBE	CIRCUITO	17D07003_04_05
Ubicación Territorial	URBANA <input type="checkbox"/> X <input checked="" type="checkbox"/>	RURAL	
Nombre de la Institución Educativa	Unidad Educativa Fiscal "Rafael Cruz Cevallos"		
Código AMIF	17HC1059		
Dirección de la Institución Educativa	ANDRÉS PÉREZ 541-164 ROSARIO BORJA		
Correo electrónico de la Institución Educativa	<a href="mailto:17-01259@gmail.com">17-01259@gmail.com</a>		
Jornada	Mañana/Vespertina		
Modalidad	FISCAL		
Sostenimiento	FISCAL		

**1. ANTECEDENTES**

Cumpliendo con la programación establecida por la Unidad de Administración Escolar de la Dirección Distrital de educación 17D07 "Quitumbe", se visitaron las instalaciones de la **UNIDAD EDUCATIVA FISCAL "RAFAEL CRUZ CEVALLOS"**, el día 13 de febrero del 2023, para constatar el estado de la infraestructura, de acuerdo con el Memorando No. MINEDUC-SEDMQ-17D07-UDAC-2023-0690-E, con fecha 13 de febrero de 2023, "donde se remite el oficio D-RCC-Oficio Nro. 087, de fecha 03 de febrero de 2023, receptado por correo electrónico quitumbe.sedmq@educacion.gob.ec el 03 de febrero de 2023, suscrito por Lic. Mercedes Chamba, Directora de la E.E.B.F. "Rafael Cruz Cevallos"; referente a atención a infraestructura, me permito informar que con fecha 13 de febrero del 2023 se realizará la visita de inspección técnica para verificar el estado de la infraestructura conforme el requerimiento expuesto y proceder según la necesidad identificada".

**2. OBJETIVOS**

Emitir un informe técnico de la Unidad Distrital de Gestión de Riesgos, por parte de Administración Escolar, que acredite la necesidad emergente de infraestructura que se expone en este documento.

**3. DESARROLLO**

Previa coordinación con los Analistas Distritales de Infraestructura el Ing. Nicolas Morocho, la Arq. Sandra Loya e Ing. Juan García, de esta Dirección Distrital, se procede a realizar la inspección de la **UNIDAD EDUCATIVA FISCAL "RAFAEL CRUZ CEVALLOS"**.

**4. METODOLOGÍA**

Visita técnica a las Instalaciones de la **UNIDAD EDUCATIVA FISCAL "RAFAEL CRUZ CEVALLOS"**.

Conforme a la inspección planificada se procedió a revisar el Aula N.4 en Planta Baja, la cual, de acuerdo a la inspección visual, presenta las siguientes observaciones.

1. Losa flejada (hundimiento en losa)
2. Columnas sobrepuestas.
3. Vigas con diferencia de sección.
4. Diferencia de nivel de losa en las juntas
5. Columnas no aplomadas adecuadamente (se encuentran con sección variable).
6. Losa con descaramiento por humedad.

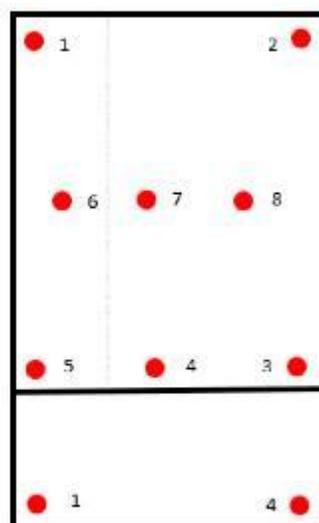
Se adjunta evidencia fotográfica y un esquema donde se evidencia mediciones, que muestran el desnivel de las losas.

REGISTRO FOTOGRAFICO AULA N.4	
	
Socialización de los problemas estructurales a cargo del Ing. Nicolas Morocho	Evidencia 1: de la diferencia de nivel en losas juntas y losa flejada.

	
<p>Evidencia 2: de la diferencia de nivel en las juntas.</p>	<p>Evidencia 3: Columnas sobrepuestas y vigas con diferente sección</p>
	
<p>Evidencia 4: Presencia de Humedad.</p>	

4. Esquema tomado con mediciones para comprobar el hundimiento en losa en Aula

Mediciones en losa en Aula N.4
h1= 2.97
h2= 2.90
h3= 2.94
h4= 2.94
h5= 2.97
h6= 2.96
h7= 2.89
h8= 2.90
h9= 2.936
h10= 2.968

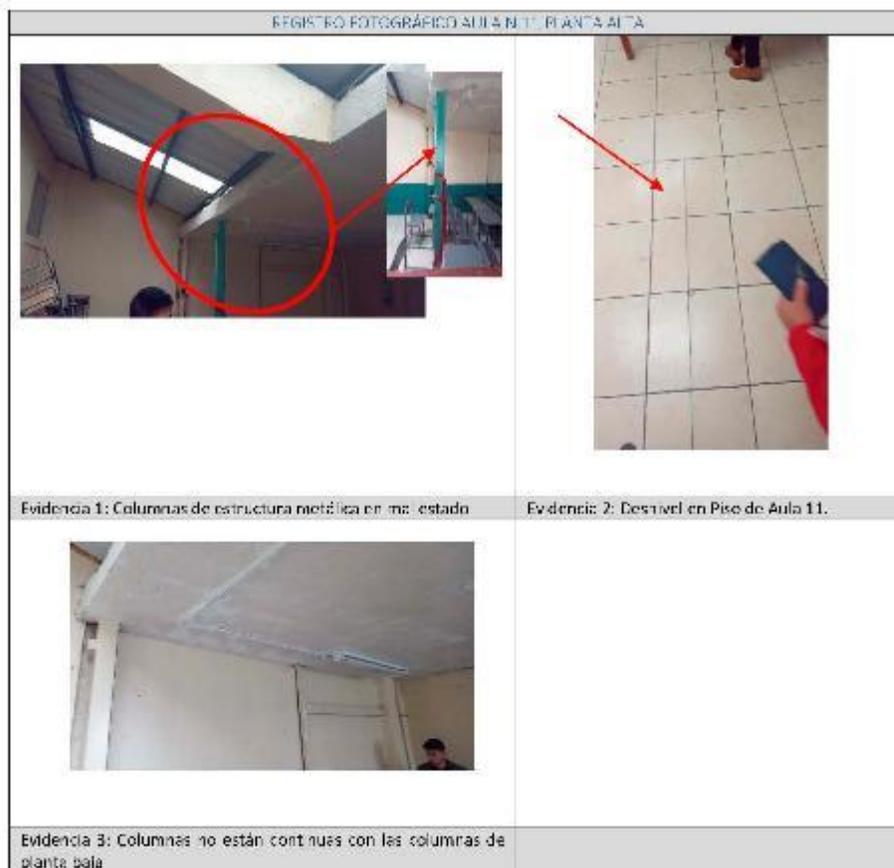


De lo presentado anteriormente se visualiza que existe una variación de hasta 8.00 cm entre distintos puntos de la losa, lo cual sugiere que la losa experimenta un pandeo significativo en relación a una losa en condiciones óptimas.

Posteriormente se procedió a revisar el Aula N.11 en Planta Alta, la cual, de acuerdo con la inspección visual, presenta las siguientes observaciones

1. Columnas no están continuas con las columnas de planta baja.
2. Desnivel del piso.
3. Columnas de estructura metálica en mal estado.

Se adjunta evidencia fotográfica.



Posteriormente se procedió a revisar el Aula N.3 en Planta Baja, contigua al Aula N.4, la cual, de acuerdo con la inspección visual, presenta las siguientes observaciones

1. Losa flejada (hundimiento en losa)



Finalmente se procedió a revisar los exteriores del Aula N.4 en Planta Baja, la cual, de acuerdo con la inspección visual, presenta las siguientes observaciones.

1. Presencia notable de humedad en exteriores
2. Desnivel en losa exterior.



**5. CONCLUSIONES**

- Una vez analizada y verificada la necesidad emergente de la losa y columnas en la Aula N.3 y Aula N.4 y exteriores y el piso en el Aula N. 11 de la **UNIDAD EDUCATIVA FISCAL "RAFAEL CRUZ CEVALLOS"** se concluye que se debe realizar esta intervención.
- Luego de la visita técnica y revisión el mantenimiento esencial de la losa de la Unidad Educativa "Rafael Cruz Cevallos", se determina que si es factible la viabilidad técnica para dicha intervención.

Con la finalidad de precautelar la integridad de los actores educativos, deben ser intervenidas las losas y columnas de inmediato para evitar el colapso estructural

- Es necesario precautelar la seguridad para el normal funcionamiento de las 3 aulas que se encuentran contiguas al aula N°4.

**6. RECOMENDACIONES**

1. Suspender el funcionamiento del aula N°4 que se encuentra en mal estado para precautelar la integridad de los estudiantes y docentes de la unidad educativa.
2. Se recomienda realizar una visita técnica por parte de Gestión de Riesgos.
3. Realizar un análisis estructural del estado de la losa y columnas verificar la capacidad de carga viva que soporta la losa ya que se presenta pandeo.
4. Analizar de donde se produce la humedad en la losa y paredes.
5. Verificar el estado de las columnas que se encuentran seccionadas en planta baja y las columnas de la estructura metálica que se encuentran en la planta alta.
6. Solicitar sea realizado el proceso de consultoría respectivo de manera urgente.

ELABORADO POR:		
Nombre	Firma	Fecha
Arq. Sandra Loya Analista Distrital de Infraestructura Fisica 17D07 Quitumbe		11-04-2023
Nombre	Firma	Fecha
Ing. Juan Garcia Analista Distrital de Infraestructura Fisica 17D07 Quitumbe		11-04-2023
REVISADO POR:		
Nombre	Firma	Fecha
Ing. Nicolas Morocho Responsable Distrital de Administración Escolar		11-04-2023
APROBADO POR:		
Nombre	Firma	Fecha
MSc. Evelyn Andrea Jácome Directora Distrital de Educación 17D07 Quitumbe		11-04-2023