



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**VULNERABILIDAD SÍSMICA APLICANDO EL MÉTODO
HIROSAWA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA ELVIRA GARCÍA Y
GARCÍA – CHICLAYO – PERÚ**

PRESENTADA POR

**VICTOR MANUEL AGUIRRE PAULINI
ANTHONY ARNOLD SANDOVAL VALENZUELA**

ASESOR

**ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARIA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

La autora sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**VULNERABILIDAD SÍSMICA APLICANDO EL MÉTODO
HIROSAWA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA ELVIRA
GARCÍA Y GARCÍA – CHICLAYO - PERÚ**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

AGUIRRE PAULINI, VICTOR MANUEL

SANDOVAL VALENZUELA, ANTHONY ARNOLD

LIMA, PERÚ

2019

Dedicatoria

Primero, a Dios, por haberme concedido salud y bienestar en todo el lapso de tiempo que duró el proceso de este proyecto, y por un día más de vida.

Segundo, a mis padres por su cariño, paciencia y apoyo, lo que me ha dado las fuerzas para continuar cuando yo no podía.

Sandoval Valenzuela Anthony Arnold

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios, por ayudarme, cuidarme y por estar presente no solo en esta etapa de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor.

En segundo lugar, a mis padres, por todo el amor, consejos y todos sus esfuerzos para darme la mejor educación

Aguirre Paulini Victor Manuel

Agradecimiento

Primero, al Ing. Mg. Juan Manuel Oblitas Santa María, Ing. Mg. Ernesto Antonio Villar Gallardo, al Ing. Mg. Carlos Eduardo Ramos Brast por su incondicional apoyo en todas las etapas de nuestra investigación.

Segundo, a todas las personas que nos contribuyeron a la finalización de esta tesis.

Finalmente, a la Universidad San Martín de Porres, por ser la cuna de todos los conocimientos que hemos adquirido a lo largo de los años.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Definición del problema	3
1.3. Formulación del problema	4
1.4. Objetivos.....	5
1.5. Importancia y justificación de la investigación	6
1.6. Limitaciones.....	8
1.7. Viabilidad de la investigación.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Bases teóricas	17
2.3. Definición de términos básicos	61
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	65
3.1. Diseño.....	65
3.2. Muestra	66
3.3. Instrumentos	76
3.4. Procedimiento	78
3.5. Formulación de hipótesis	80
3.6. Variables	81
CAPÍTULO IV. DESARROLLO Y APLICACIÓN	83
4.1. Descripción del módulo aulas 1,2,3	83
4.2. Estructuración del sistema en cada dirección	84
4.3. Especificaciones de materiales usados en el sistema estructural.....	85

4.4. Cargas verticales	86
4.5. Análisis de vulnerabilidad sísmica en la dirección x-x (método hirosawa)	86
4.7. Análisis de vulnerabilidad sísmica en la dirección y-y (método Hirosawa)	108
4.8. Análisis dinámico lineal de módulo aulas 1,2,3, con el programa Etabs 2016 v.16.2.1	129
CAPÍTULO V. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	150
5.1. Resultados método Hirosawa dirección X-X.....	150
5.2. Resultados método Hirosawa dirección Y-Y.....	158
5.3. Resultados de modelamiento en Software Etabs 2016 v2016.2.1	167
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	186
6.1. Determinación de la vulnerabilidad estructural aplicando el método Hirosawa	186
6.2. Determinación de la vulnerabilidad Método cuantitativo	194
CONCLUSIONES	195
RECOMENDACIONES.....	197
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	198
ANEXOS.....	203

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Factores de Zona	22
Tabla 2. Sismos históricos del norte del Perú	25
Tabla 3. Sismos en el Departamento del Lambayeque	26
Tabla 4. Uso de los edificios reparados y reforzados	35
Tabla 5. Valores de los coeficientes α_1	43
Tabla 6. Valores de G_i y R_i	47
Tabla 7. Valores del índice T para diferentes causas y tipos de deterioro... 51	51
Tabla 8 Clasificación de daños causados por un sismo	52
Tabla 9. Factor de Suelo.....	57
Tabla 10. Coeficientes de Reducción	58
Tabla 11. Distribución arquitectónica según pisos	71
Tabla 12. Diseño Estructural en el sentido X y en el sentido Y.....	72
Tabla 13. Características del suelo en estudio	74
Tabla 14. Capacidad admisible del terreno en kg/cm ²	75
Tabla 15. Resumen de parámetros del suelo	75
Tabla 16. Operacionalización de variables	82
Tabla 17. Cargas del módulo Aulas 1,2,3	86
Tabla 18. Datos Generales del módulo Aulas 1,2,3 X-X.....	87
Tabla 19. Dimensiones de las columnas del módulo Aulas 1,2,3	88
Tabla 20. Parámetros sísmicos del módulo Aulas 1,2,3	89
Tabla 21. Determinación del coeficiente α del módulo Aulas 1,2,3.....	90
Tabla 22. Índice de resistencia proporcionada por columnas del módulo Aulas1,2,3.....	91
Tabla 23. Peso por piso de la edificación	92
Tabla 24. Factores A_{c1} y A_{c2} del módulo Aulas 1,2,3.....	92
Tabla 25. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas (C_c)	93
Tabla 26. Índice de ductilidad (F).....	93
Tabla 27. Cálculo del E_o del módulo Aulas 1,2,3.....	93
Tabla 28. Subíndice sísmico básico de configuración estructural (SD)	94
Tabla 29. Datos dimensionales módulo Aulas 1,2,3	95

Tabla 30. Relación largo – ancho (B) en módulo Aulas 1,2,3	96
Tabla 31. Uniformidad de altura de cada piso (Rh) del módulo Aulas 1,2,3	96
Tabla 32. Cálculo del subíndice de Configuración Estructural (SD) del módulo Aulas 1,2,3	97
Tabla 33. Deformación permanente (T1)	98
Tabla 34. Grietas en muros o columnas (T2).....	99
Tabla 35. Incendios (T3)	99
Tabla 36. Uso del cuerpo o bloque (T4).....	99
Tabla 37. Tipo de daño estructural	100
Tabla 38. Cálculo del sub índice de tiempo de deterioro (T) del módulo Aulas 1,2,3.....	100
Tabla 39. Cálculo del índice Vulnerabilidad Estructural (Is) del módulo Aulas 1,2,3 X-X.....	100
Tabla 40. Zonificación (Norma japonesa)	103
Tabla 41. Parámetros del suelo – Norma japonesa	103
Tabla 42. Coeficiente espectral de diseño (Rt) – Norma japonesa	104
Tabla 43. Coeficiente Cortante Estándar (Co) – Norma japonesa	104
Tabla 44. Zonificación sísmica - Norma peruana.....	105
Tabla 45. Parámetros de sitio (S) – Norma peruana.....	105
Tabla 46. Categoría (U) – Norma peruana	105
Tabla 47. Coeficiente básico de Reducción de Fuerzas (R) – Norma peruana	105
Tabla 48. Período de vibración (T) – Norma peruana.....	106
Tabla 49. Determinación de Vulnerabilidad sísmica del módulo Aulas 1,2,3	107
Tabla 50. Datos generales del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	108
Tabla 51. Dimensiones de las columnas y muros portantes del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y	109
Tabla 52. Parámetros sísmicos del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y	110
Tabla 53. Determinación del coeficiente α del módulo Aulas 1,2,3.....	111
Tabla 54. Índice de resistencia proporcionada por columnas del módulo Aulas1,2,3	112
Tabla 55. Peso del edificio por piso	113

Tabla 56. Factores Ac1 y Ac2 del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	113
Tabla 57. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas (Cc) Y-Y.....	114
Tabla 58. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por albañilería (Cc) Y-Y.....	114
Tabla 59. Índice de ductilidad (F).....	114
Tabla 60. Cálculo del subíndice de comportamiento estructural (Eo) módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	115
Tabla 61. Subíndice sísmico básico de configuración estructural (SD)	116
Tabla 62. Datos dimensionales módulo Aulas 1,2,3 Y-Y	117
Tabla 63. Relación largo – ancho (B) en módulo Aulas 1,2,3 Y-Y	117
Tabla 64. Uniformidad de altura de cada piso (Rh) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y	118
Tabla 65. Cálculo del subíndice de Configuración Estructural (SD) del módulo Aulas 1,2,3	119
Tabla 66. Deformación permanente (T1)	120
Tabla 67. Grietas en muros o columnas (T2).....	120
Tabla 68. Incendios (T3).....	121
Tabla 69. Uso del cuerpo o bloque (T4).....	121
Tabla 70. Uso del cuerpo o bloque (T5).....	121
Tabla 71. Cálculo del sub índice de tiempo de deterioro (T) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	122
Tabla 72. Cálculo del índice Vulnerabilidad Estructural (Is) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	122
Tabla 73. Zonificación (Norma japonesa)	125
Tabla 74. Parámetros del suelo – Norma japonesa	125
Tabla 75. Coeficiente espectral de diseño (Rt) – Norma japonesa	125
Tabla 76. Coeficiente Cortante Estándar (Co) – Norma japonesa	125
Tabla 77. Zonificación sísmica (Z) – Norma peruana	126
Tabla 78. Parámetros de sitio (S) – Norma peruana.....	127
Tabla 79. Categoría (U) – Norma peruana	127
Tabla 80. Coeficiente básico de Reducción de Fuerzas (R) – Norma peruana	127

Tabla 81. Período de vibración (T) – Norma peruana.....	127
Tabla 82. Determinación de Vulnerabilidad sísmica del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	129
Tabla 83. Factor de Reducción (R) del módulo Aulas 1,2,3 X-X.....	134
Tabla 84. Factor de Reducción (R) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y.....	134
Tabla 85. Factores asumidos.....	135
Tabla 86. Período de vibración del suelo.....	136
Tabla 87. Cortante en cada dirección analizada.....	138
Tabla 88. Excentricidades en cada dirección de análisis.....	139
Tabla 89. Límites para la distorsión de entrepiso.....	143
Tabla 90. Distorsiones.....	146
Tabla 91. Distorsiones relativas.....	146
Tabla 92. Distorsiones absolutas.....	147
Tabla 93. Desplazamientos con distorsión dinámica.....	147
Tabla 94. Distorsiones con casos de carga dinámicos.....	148
Tabla 95. Irregularidades por Rigidez.....	148
Tabla 96. Verificación de irregularidad torsional.....	148
Tabla 97. Verificación de distorsiones dinámicas.....	149
Tabla 98. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas (Cc) X-X.....	151
Tabla 99. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por muros de albañilería (Cmar) X-X.....	152
Tabla 100. Cálculo de índice básico de comportamiento estructural (Eo) X-X	152
Tabla 101. Cálculo de índice básico de configuración estructural (SD) X-X	153
Tabla 102. Cálculo de índice de deterioro de la edificación (t) X-X.....	155
Tabla 103. Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural (Is) X-X.....	156
Tabla 104. Comparación entre los índices de vulnerabilidad estructural (is) y de demanda sísmica (Iso) X-X.....	157
Tabla 105. Cálculo de índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas (Cc) Y-Y.....	159

Tabla 106. Cálculo de índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería (Cmar) Y-Y	160
Tabla 107. Cálculo de índice de comportamiento estructural (Eo) Y-Y.....	160
Tabla 108. Cálculo de índice básico de configuración estructural (SD) Y-Y	162
Tabla 109. Cálculo de índice de deterioro de la edificación (T) Y-Y	163
Tabla 110. Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural (Is) Y-Y	164
Tabla 111. Comparación entre los índices de vulnerabilidad estructural (is) y de demanda sísmica (Iso) Y-Y.....	165
Tabla 112. Análisis estático o fuerzas equivalentes.....	167
Tabla 113. Verificación de excentricidad entre centro de masa y centro de rigidez	169
Tabla 114. Distorsiones en cada esquina	171
Tabla 115. Desplazamientos relativos de cada módulo	173
Tabla 116. Desplazamientos absolutos	175
Tabla 117. Desplazamientos en el centro de masa	177
Tabla 118. Desplazamientos en el centro de masa con el sismo dinámico	178
Tabla 119. Irregularidad en rigidez	180
Tabla 120. Irregularidad torsional	182
Tabla 121. Distorsiones de entrepiso.....	184
Tabla 122. Resultados del índice de resistencia sísmica (Is) y demanda sísmica (Iso) para cada módulo analizado.....	187
Tabla 123. Estado de vulnerabilidad de cada módulo	188
Tabla 124. Resultados índice de configuración Estructural (SD).....	189
Tabla 125. Resultados índice de comportamiento Estructural (Eo)	190
Tabla 126. Resultados índice de tiempo de deterioro (T)	192
Tabla 127. Resultados índice de demanda sísmica (Iso)	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
Ilustración 1. Placas tectónicas.....	18
Ilustración 2. Localización del hipocentro y epicentro durante un sismo.....	18
Ilustración 3. Proceso de convergencia de la placa de Nazca y la placa sudamericana	21
Ilustración 4. Las Zonas sísmicas en el Perú.....	22
Ilustración 5. Mapa de intensidades sísmicas en el Perú	24
Ilustración 6. Relieve topográfico de la región Lambayeque.....	28
Ilustración 7. Mapa geotécnico de la Ciudad de Chiclayo.....	29
Ilustración 8. Esquema Método Hirosawa.....	39
Ilustración 9. Relación l y b.	48
Ilustración 10. Razón entre largo y ancho.....	49
Ilustración 11. Contracción de planta.....	49
Ilustración 12. Uso e importancia de las edificaciones.....	56
Ilustración 13. Street view de la ubicación I.E Elvira García y García.....	67
Ilustración 14. Ubicación de Lambayeque	68
Ilustración 15. Áreas de distribución de la I.E. Elvira García y García	71
Ilustración 16. Vista en planta de Módulo Aulas 1,2,3	84
Ilustración 17. Norma E.030 2018 Diseño Sismorresistente	130
Ilustración 18. Definir dimensiones de grillas	130
Ilustración 19. Definir altura de piso	131
Ilustración 20. Definir propiedades de materiales	132
Ilustración 21. Definir dimensiones de elementos estructurales	132
Ilustración 22. Vista 3D del modelo terminado.....	133
Ilustración 23. Vista Extrude modelo terminado	133
Ilustración 24. Definición de cargas	134
Ilustración 25. Período de la estructura	135
Ilustración 26. Factores de amplificación sísmica	136
Ilustración 27. Condiciones para el período de vibración.....	136
Ilustración 28. Ingreso de los valores V y K para X.....	137
Ilustración 29. Ingreso de los valores V y K para Y.....	137
Ilustración 30. Combo para Sismo en X.....	138

Ilustración 31. Combo para sismo en Y	138
Ilustración 32. Cortantes del edificio	138
Ilustración 33. Excentricidades según software	139
Ilustración 34. Combo envolvente.....	140
Ilustración 35. cálculo de distorsiones	140
Ilustración 36. Límites para la distorsión del entrepiso	140
Ilustración 37. Definición del espectro en X	141
Ilustración 38. Definición del espectro en Y	141
Ilustración 39. Casos de carga de sismo dinámica en X.....	142
Ilustración 40. Casos de carga de sismo dinámica en Y.....	142
Ilustración 41. Combo de distorsiones	143
Ilustración 42. Distorsiones dinámicas en cada dirección de análisis	143
Ilustración 43. Distorsiones en las esquinas	144
Ilustración 44. Tablas de resultados del Etabs.....	145
Ilustración 45. Distorsiones en el punto 1	145
Ilustración 46. Distorsiones en el punto 2	145
Ilustración 47. Distorsiones en el punto 3	146
Ilustración 48. Distorsiones en el punto 4	146
Ilustración 49. Desplazamientos en el centro de masa en X	147
Ilustración 50. Desplazamientos en el centro de masa en Y	147
Ilustración 51. Desplazamientos en el centro de masa en Z.....	147
Ilustración 52. Distorsiones dinámicas de entrepiso	149
Ilustración 53. Límites para la distorsión según Norma E.030 2018	150

RESUMEN

La presente investigación promueve el estudio de vulnerabilidad sísmica en instituciones educativas aplicando el método Hirosawa, se considera los conceptos de configuración y comportamiento estructural, así como también el deterioro de la edificación analizada y las condiciones existentes del terreno. La metodología utilizada fue de tipo aplicada y se realizaron inspecciones en campo, basándose en la metodología empleada por Hirosawa y en las especificaciones de las normas técnicas peruanas que se aplican en la evaluación de vulnerabilidad.

La problemática de esta tesis se analizó fundamentándose en conocimientos ya adquiridos, tanto teóricos como empíricos. Asimismo, el objetivo general de este proyecto consiste en determinar la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa en la Institución Educativa Elvira García y García.

Se evaluó la vulnerabilidad sísmica mediante el método Hirosawa en dieciocho módulos de la institución educativa, teniendo como resultado cuatro módulos vulnerables, por lo tanto, inseguros. Además, mediante la aplicación de un modelamiento del Software Etabs 2016 v.16.2.1, se determinó que seis de los módulos analizados no cumplen con los parámetros de la Norma E.030

2018, lo que significa que son vulnerables. De esta manera la Institución Educativa Elvira García y García resulta insegura ante un evento sísmico.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, método de Hirosawa, Institución Educativa Elvira García y García, modelamiento estructural.

ABSTRACT

The current investigation promotes the study of the seismic vulnerability in educational institutions applying the Hirosawa method, considering the concepts of configuration and structural behavior, as well as the deterioration of the analyzed building and the existing conditions of the ground. The methodology used was of the Applied type and inspections were carried out in the field based on the method used and the specifications of the Peruvian technical standards that are applied in the vulnerability assessment.

The problem of this thesis was analyzed based on already acquired knowledge, both theoretical and empirical. Likewise, the general objective of this project is to determine the seismic vulnerability by applying the Hirosawa method in the Elvira García y García Educational Institution.

Seismic vulnerability was evaluated using the Hirosawa method in eighteen modules of the aforementioned educational institution, resulting in four vulnerable modules that are therefore unsafe. In addition, through the application of a modeling using the Etabs 2016 Software v.16.2.1, it was determined that six of the analyzed modules do not comply with the parameters of the E.030 Technical Rules, therefore, they are vulnerable. In this way the Elvira García y García Educational Institution is insecure in the face of a seismic event.

Keywords: Seismic vulnerability, Hirosawa method, Educational Institution
Elvira García & García, estructural modeling.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad podemos ser testigos de los eventos sísmicos que frecuentemente ocurren en nuestra región, y que provocan graves daños a las estructuras de las instituciones educativas de nuestro país, ya sea por utilización de normas antiguas, incorrecto diseño estructural, por un mal proceso constructivo o por un mal estado de conservación de los elementos sismorresistentes; esto nos lleva a realizar estudios de vulnerabilidad sísmica y así conocer la situación de riesgo que presenta cada institución ante acciones de sismo.

En el presente trabajo de investigación se promueve la utilización de la metodología Hirosawa para la determinación de la vulnerabilidad sísmica, ya que es un método capaz de predecir el riesgo sísmico y que fue creado basándose en la experiencia japonesa frente a la presencia de acciones sísmicas.

La problemática de la tesis plantea que la vulnerabilidad sísmica en la Institución Educativa Elvira García y García se ve condicionada por ciertos parámetros como la resistencia de los elementos estructurales, la configuración estructural, el deterioro de la edificación y las demandas sísmicas que podrían presentarse ante la ocurrencia de un movimiento telúrico.

Asimismo, es oportuno mencionar que el objetivo general de la investigación es determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el método

Hirosawa en la Institución Educativa Elvira García y García. Mientras que en los objetivos específicos se encuentran: primero, analizar la configuración estructural de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando el método Hirosawa; segundo, analizar el comportamiento básico estructural de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando método Hirosawa; tercero, analizar el deterioro de la estructura de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando el método Hirosawa; y cuarto, analizar las condiciones del terreno de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de demanda sísmica aplicando el método Hirosawa.

En lo referente a la hipótesis general, indicamos que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa, permitirá determinar la seguridad sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, la cual resulta segura, pero después de analizar los resultados podemos concluir y de igual modo, rechazar dicha hipótesis planteada inicialmente.

Finalmente, la estructura de la tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Hirosawa en la Institución Educativa Elvira García y García – Chiclayo – Perú”, se presenta a continuación: en el Capítulo I se plasma el planteamiento del problema, mientras que en el Capítulo II se presenta el marco teórico de la tesis. También, el Capítulo III muestra la metodología de la investigación, el Capítulo IV el desarrollo y aplicación del método Hirosawa, como Capítulo V se muestran los resultados obtenidos y por último, el Capítulo VI la discusión de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

a) Nivel internacional

El continente sudamericano está situado en una zona con una gran exposición a movimientos telúricos, a razón de su posición geotectónica en el Anillo de Fuego del Pacífico, siendo esta región una de las que presenta elevada cantidad de liberación de energía del planeta, en la que se produce alrededor del 80% de los movimientos sísmicos del mundo. Esta es la causa de que los países de Sudamérica son aquellos que han registrado algunos de los movimientos sísmicos más catastróficos de la historia (Calle, 2017).

“La convergencia de placas continentales y oceánicas activas, en América del Sur, como la Placa Sudamericana, la Placa de Nazca y la Placa del Caribe ocasionan actividad sísmica, volcánica y amenazas de tsunamis” (Calle, 2017, p. 14).

Los movimientos sísmicos más importantes registrados en la última década han azotado países como Ecuador el 16 de abril de 2016 con una magnitud

de 7.8 Mw., en Chile el 16 de setiembre de 2015 y 01 de abril de 2014 con una magnitud de 8.3 Mw. y 8.2 Mw. respectivamente y en el país Guatemala el 07 de noviembre de 2012 con 7,4 Mw de magnitud. Aquellos hechos dejaron como resultado un gran número de pérdidas humanas, cientos de damnificados, edificaciones destruidas y al borde del colapso (Calle, 2017).

b) Nivel nacional

El Perú está en una zona de alta sismicidad y debido a esto posee una actividad sísmica importante que afectaría a gran mayoría del territorio nacional. Los registros más recientes y devastadores de eventos sísmicos sucedidos en territorio peruano tales como: terremoto de Ancash en 1970, terremoto de Lima en 1974, terremoto de Nazca en 1996, terremoto de Arequipa en 2001, terremoto de Pisco en 2007; han ocasionado daños significativos en la Infraestructura de los centros educativos del país, produciendo así un gran impacto socio-económico (Ramírez & Salazar, 2015).

El sismo de Ancash en 1970, donde la gran mayoría de centros educativos resultaron afectados, ya que 6730 aulas quedaron reducidas a escombros; a consecuencia de esto, en el año 1977 se aprobó la Primera Norma Moderna Sismorresistente, después de los eventos sísmicos ocurridos anteriormente (Ramírez & Salazar, 2015).

Dos décadas después, en el año 1997 se acepta la Norma E.030 2018, según la cual, las instituciones educativas están ubicados en la categoría A (Edificaciones Esenciales); lo que indica que deberían estar preparados y servir de albergue después de que ocurra un evento sísmico. Por otro lado, los problemas siguen presentándose después de cada evento sísmico, y se ha comprobado que los daños reinciden, lastimosamente (Ramírez & Salazar, 2015).

1.2. Definición del problema

Astorga & Aguilar (2006), citados por Soto (2018, p. 12), señalan que “la mayor parte de las pérdidas debido a un terremoto se debe principalmente a un mal comportamiento sísmico de las estructuras existentes”. Asimismo, aseguran que “para reducir dichas pérdidas es necesario realizar estudios que permitan determinar el nivel de daño que puede sufrir una estructura ante la ocurrencia de un sismo siendo uno de estos estudios la vulnerabilidad sísmica”.

Muñoz, León, Quintana & Blondet (2005), citados por Soto (2018, p.13), afirman que “En los sismos ocurridos en el Perú, los daños ocasionados en las edificaciones escolares tradicionales se han originado fundamentalmente por pobre desempeño del sistema porticado longitudinal”. Además, indican que otro problema originado por la poca rigidez en los elementos estructurales en cada dirección analizada, es la falla por columna corta, ocasionando daños significativos que pueden ser reparados o daños severos que dejan la edificación fuera de servicio.

Como consecuencia de lo ya mencionado, la tesis evaluará la vulnerabilidad sísmica mediante la aplicación del método Hirosawa para determinar la seguridad estructural de la Institución Educativa Elvira García y García, al tratarse de una edificación de categoría esencial, es necesario tener un vasto conocimiento de evaluación de vulnerabilidad, para así desarrollar un plan de emergencia con sus respectivas medidas de seguridad ante la presencia de un sismo.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa para determinar la seguridad estructural de la Institución Educativa Elvira García y García – Chiclayo – Perú?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cómo evaluar la **configuración estructural** aplicando el método Hirosawa para calcular el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García?

¿Cuál es el **comportamiento básico estructural** aplicando el método Hirosawa para calcular el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García?

¿Cuál es el **deterioro de la estructura** aplicando el método Hirosawa para calcular el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García?

¿Cómo evaluar las **condiciones del terreno** aplicando el método Hirosawa para calcular el **índice de demanda sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García?

1.4. Objetivos

a) Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa para determinar la seguridad estructural de la Institución Educativa Elvira García y García – Chiclayo – Perú.

b) Objetivos específicos

- Analizar la configuración estructural de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando el método Hirosawa.
- Analizar el comportamiento básico estructural de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando método Hirosawa.
- Analizar el deterioro de la estructura de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de resistencia sísmica aplicando el método Hirosawa.
- Analizar las condiciones del terreno de la Institución Educativa Elvira García y García para calcular el índice de demanda sísmica aplicando el método Hirosawa.

1.5. Importancia y justificación de la investigación

1.5.1. Importancia de la investigación

Según la entrevista realizada por los autores de esta tesis al especialista en estructuras, Ing. Mg. Ovidio Serrano Z. indica que “la presente investigación es de suma importancia debido a que tiene que ver con la preservación de la vida de los estudiantes. De acuerdo a la Norma E.030 2018, una institución educativa es una edificación de vital importancia (esenciales) y es asignada por el gobierno como refugio en caso de desastres naturales” (Los autores).

En otra entrevista llevada a cabo al Ing. Mg. Ricardo Sosa S. menciona que “estamos ubicados en una zona de alta sismicidad, y es necesario conocer cuán preparada está la edificación para soportar un sismo. Si bien se dice que están fabricadas de material noble, no siempre se respetan las normas técnicas necesarias, o se ejecuta un mal proceso constructivo, así como también imprudencias por parte del maestro o profesional encargado de la obra. Los detalles y características que están presentes en la vulnerabilidad sísmica afectan a la edificación a futuro, por lo que se debe realizar un análisis con el fin de prevenir” (Los autores).

1.5.2. Justificación social

La justificación social se enfoca en que los alumnos, personal administrativo y plana docente, que al conocer cuáles son los módulos que presentan vulnerabilidad sísmica ante un movimiento telúrico en la Institución Educativa Elvira García y García, podrán tomar acciones para evitar daños y preservar la vida humana.

Según entrevista al Ing. Mg. Ovidio Serrano Z. señala que “permitirá beneficiar a la comunidad estudiantil, preservando la vida de generaciones futuras, ya que, si ocurriera un evento sísmico

catastrófico, el número de pérdidas humanas (alumnos) sería cuantioso” (Los autores).

1.5.3. Justificación económica

Una vez conocidos los defectos de la estructura de la Institución Educativa Elvira García y García se puede formular un plan de alternativas para reforzarla, mejorando así su comportamiento ante acciones sísmicas reduciendo daños estructurales y no estructurales y a su vez, anulando los gastos de reconstrucción y reparación de la infraestructura causados por un evento sísmico.

El Ing. Mg. Ovidio Serrano Z. en una entrevista indica que este tipo de investigaciones “beneficiaría a la población en general debido a que se podrían recomendar aplicaciones de políticas de estado que permitan la eficiencia de la inversión en la construcción de edificación esenciales” (Los autores)

1.5.4. Justificación tecnológica

La aplicación de metodologías de evaluación estructural se ve impulsada por el desarrollo de la investigación, la cual es aplicable a otras instituciones de diferente índole, lo cual facilita la identificación de los módulos que necesiten un análisis minucioso, gracias a su inusual comportamiento ante un evento sísmico.

Es importante señalar que las instituciones educativas en el distrito de Chiclayo, que presentan un alto número de población estudiantil, se han construido previamente a que el Perú adoptara normas sismorresistentes, mientras que otras han permanecido fieles a pautas y procedimientos distintos a la reglamentación actual. Además, el lugar en investigación se localiza en un área de alta peligrosidad sísmica, por lo que se comprende la importancia de elaborar un análisis a edificaciones de esta índole.

1.6. Limitaciones

La principal limitación fue el acceso a documentos relacionados con el expediente técnico y a la construcción de la Institución Elvira García y García, es decir que se proporcionen todos los estudios de suelos y de memoria de cálculo debidamente firmados por especialistas, así como también planos según construido, cuaderno de obra firmados por la residencia y supervisión encargadas de la ejecución de la obra.

También, se tuvo como limitación el acceso a las instalaciones de la Institución Educativa Elvira García y García, ya que se otorgó el permiso para realizar las visitas únicamente el día domingo en la mañana, debido a que no se debían interrumpir las actividades escolares como clases, talleres, etc. Por otro lado, el documento en físico del permiso de acceso sufrió una demora, a causa de que el personal de administración tuvo un período de huelga, lo cual ocasionó que el documento fuera entregado de manera tardía.

1.7. Viabilidad de la investigación

a) Viabilidad técnica

Lo que hace a esta investigación viable técnicamente son los siguientes aspectos: utilización de la Norma E.030 2018 Diseño Sismorresistente, uso de distintos softwares como el AutoCAD 2D, Etabs 2016 v.16.2.1, Microsoft Office; así como también, por la basta información recopilada de Tesis, trabajos de investigación, ensayos, etc. Además, contamos con el apoyo de los profesionales más experimentados en la materia.

b) Viabilidad económica

Todos los gastos fueron asumidos íntegramente por los autores, más en lo personal, ésta no generará beneficio económico alguno.

c) Viabilidad social

La realización de este trabajo de investigación asegurará que la población estudiantil tenga oportunidades de mejorar sus condiciones de seguridad en la infraestructura del I.E. Elvira García y García, mediante la previsión adecuada (tanto en calidad como en tecnología) y sostenible de servicios educativos, conjugando la construcción y mejoramiento de infraestructura. Se busca garantizar de modo sostenible las medidas de seguridad ante eventuales sismos futuros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A lo largo de la historia, el estudio de la vulnerabilidad sísmica ha sufrido un cambio positivo. Para dar testimonio de este gran cambio, es necesario estudiarla en un contexto más vasto, por ello en estos antecedentes se tomarán en cuenta nociones de anteriores estudios en el marco nacional e internacional que dan prueba de la gran repercusión del estudio de la vulnerabilidad sísmica.

a) Nivel Internacional

a.1) Navia Llorente, J. y Barrera Roa, E. (2007)

En la Tesis de Navia & Barrera (2007): “Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá”, concluye que:

De todas las muestras analizadas el coeficiente de vulnerabilidad sísmica calculado en esta investigación fue de 6.1, por lo tanto, se

puede afirmar que estas edificaciones son no vulnerables antes acciones de sismos según el método aplicado; sin embargo, se tuvo que generalizar el valor, para ello, en la capital de Colombia (Bogotá) se analizaron tres variables importantes como: la cantidad de viviendas que existían en la capital en el 2007 según Censo de 2007, la cantidad de viviendas construidas clandestinamente según el Diario El Tiempo (30 de enero del 2008) y la cantidad de viviendas construidas por Metrovivienda (Navia & Barrera, 2007).

a.2) Picon Vargas, C. y Vargas Martinez, D. (2011)

En la Tesis de Picon & Vargas (2011): “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la sede principal del colegio de Santander en Bucaramanga”, concluye que:

Las anomalías encontradas en los elementos de concreto como grietas, pérdida de recubrimiento y exposición del acero, presencia de humedad, etc., ocasionan que los elementos estructurales de la Institución Educativa en análisis se consideren vulnerable ante fuerzas sísmicas de un evento telúrico de elevada magnitud (Picon & Vargas, 2011).

El mal estado de conservación, antigüedad de la estructura y usos de normas sismorresistente desactualizadas (1984), posibilitaron deducir anticipadamente antes de realizar el análisis de vulnerabilidad que dicha edificación no satisfacería con los parámetros permisibles de la norma simorresistente actual (Picon & Vargas, 2011).

a.3) Zora Mejía, F. (2013)

En la tesis de Zora (2013): “Identificación del índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas de Medellín”, se buscó analizar el nivel de vulnerabilidad sísmica de algunas escuelas de Medellín, Itagüí y Sabaneta mediante la aplicación de la metodología del índice prioritario, concluye que:

Según esta metodología las estructuras construidas en estas ciudades tienen diferentes niveles de vulnerabilidad sísmica de acuerdo a las buenas o malas prácticas de construcción y al uso o no de normas sismorresistentes. El método utilizado para este estudio identificó también que un 61% de las estructuras evaluadas son edificaciones con mayor vulnerabilidad (Zora, 2013).

a.4) Moreta Viscarra, J. (2015)

En la Tesis de Moreta (2015): “Evaluación estructural mediante el FEMA 154 del NEC y propuesta de reforzamiento del Centro Educativo Juan Pablo I del Distrito Metropolitano de Quito”, concluye que:

Se puede concluir que en el diseño sismo resistente lo que se busca es que la estructura presente mayor rigidez, cumpliendo con los parámetros de ductilidad que permitan que primero falle el acero y después el hormigón, al igual que se debe emplear la condición de columna fuerte viga débil (Moreta, 2015).

Existen varios sistemas de reforzamiento los mismos que no en todas las estructuras se pueden aplicar de la misma manera, es así que, es indispensable el realizar un análisis previo de cada una de las alternativas para utilizar la mejor opción para la estructura a ser intervenida (Moreta, 2015).

a.5) Hernández Ávila, M. (2016)

En la Tesis de Hernández (2016): “Vulnerabilidad sísmica de edificios del campus Mocambo de la universidad Veracruzana”, concluye que:

Los modelos estructurales presentados en este trabajo son los más cercanos a las estructuras reales, pues sus periodos obtenidos mediante ambos métodos (experimental y analítico) son muy similares, lo que garantiza un margen de error mínimo en el modelado de dichas estructuras, y la obtención de los requisitos más importantes para el uso del método para calcular la vulnerabilidad sísmica (Hernández, 2016).

En los modelos estudiados se consideraron que todos los muros (completos y de mediana altura) aparentemente están ligados a la estructura, pues al modelarlos junto con los marcos se obtuvieron periodos similares a los obtenidos mediante pruebas de vibración ambiental, esto nos hace pensar que durante el proceso constructivo no se estimó desligar a estos muros, estos errores pueden provocar serios daños en la estructura al ser expuesta a fuerzas sísmicas, presentándose en algunos casos el fenómeno de columna corta (Hernández, 2016).

b) Nivel Nacional

b.1) Soto Raico, E. (2018)

En la Tesis de Soto: “Comparación de los métodos: fema 154, Hirosawa y Demanda - Resistencia para evaluar vulnerabilidad sísmica en infraestructura educativa – Baños del Inca”. Cajamarca - Perú, concluye que:

El módulo A de la I.E Andrés Avelino Cáceres evaluado por el método Fema 154 no es vulnerable ante ocurrencia de un sismo, puesto que tiene un puntaje de 4. Del mismo modo, por el método Hirosawa la estructura no es vulnerable, puesto que tiene un puntaje de $I_s=0.41$ mayor al índice $I_{so}=0.16$ y por último, tras el análisis por el método Demanda - Resistencia el módulo A de la I.E Andrés Avelino Cáceres ES VULNERABLE ante ocurrencia de un sismo, debido a que las características del refuerzo son mayores al demandante (Soto, 2018).

b.2) Cortez Sánchez, C. y Fernández Valdiviezo, J. (2017).

En la Tesis de Cortez & Fernández (2017): “Análisis de la vulnerabilidad sísmica en el pabellón “D” de la Universidad Privada Antenor Orrego”. Trujillo - Perú, concluye y recomienda que:

La edificación resultó ser vulnerable en ambas direcciones, y en ambos niveles; mientras que, en el tercer piso, seguro únicamente en la dirección X y el cuarto piso, no vulnerable en ninguna de las direcciones, como lo muestra la tabla 79 después de aplicar el método cualitativo de Hirosawa. Así también, el método de Benedetti Petri arroja una vulnerabilidad media alta a la edificación después de haber inspeccionado la edificación y encontrados problemas como columna corta, parapetos en mal estado, fisuras, grietas, etc. Lo cual, evidencia que la estructura está predispuesta a sufrir daños considerables ante la presencia de un evento sísmico (Cortez & Fernández, 2017).

Los resultados obtenidos mediante el modelo dinámico lineal evidenciaron serios problemas en el incumplimiento de las derivas en todos los pisos y en ambas direcciones presentándose las derivas más críticas en el tercer piso en dirección X con un valor de 0.07546 y en el segundo piso en dirección Y con un valor de 0.06573 mucho mayor a lo permitido por la NTE0.30 que estipula un máximo de 0.007. Siendo el

resultado obtenido mucho mayor a lo permitido. Es importante mencionar que el incumplimiento de las derivas se debe a que el incremento de la sollicitación sísmica de la norma con la que se edificó, ha sido incrementado en 2.93 veces a la norma actual, por lo cual era de esperarse que no cumpla con los parámetros de derivas de la norma actual (Cortez & Fernández, 2017).

“Se recomienda utilizar los métodos cualitativos como el de Hirosawa y Benedetti-Petrini Adaptados a la normativa peruana, ya que nos acercan a una realidad de vulnerabilidad de la estructura, además de ser métodos aplicables muy sencillos, rápidos y económicos” (Cortez & Fernández, 2017, p. 185).

b.3) Calle Nizama, C. (2017)

En la Tesis de Calle (2017): “Vulnerabilidad estructural de la I.E. N° 10024 Nuestra Señora de Fátima.” Pimentel - Perú, concluye que:

Todos los Módulos construidos en el año 2001, tienen características en su estructura que les da mayor seguridad ante acciones de sismo a comparación de los Módulos construidos en 1950, debido a que estos pueden llegar a representar un peligro debido a la elevada posibilidad de derrumbe durante y después de un fuerte evento sísmico (Calle, 2017).

Los módulos construidos en el año 2001 son estructuras que presentan una resistencia y rigidez apropiada que son aptos para aguantar las acciones sísmicas que sobre ellos actúan. Por el contrario, los módulos construidos en el año 1950 son estructuras que presentan una rigidez y resistencia muy por debajo de lo permisible, porque al ser sometidas a acciones de sísmicas severas presentarán distorsiones elevadas (Calle, 2017).

b.4) Abanto Valdivia, S. Y Cárdenas Cruz, D. (2015)

En la Tesis de Abanto & Cárdenas (2015): “Determinar la Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones de las Instituciones Educativas Públicas del Centro Histórico de Trujillo, provincia Trujillo, región La Libertad.” Concluye y recomienda que:

Según los resultados del análisis realizado por los autores, que los bloques analizados en su totalidad presentan vulnerabilidad sísmica media baja, pues no cumplen con los parámetros de una buena configuración en planta, diseño de cubierta, elementos no estructurales y cuidado de la infraestructura (Abanto & Cárdenas, 2015).

Los autores también recomiendan aplicar métodos para determinar la vulnerabilidad sísmica en edificaciones cumpliendo parámetros sísmicos e implementando estudios actuales, dado que el lugar de estudio se encuentra en una zona sísmica alta (Abanto & Cárdenas, 2015).

Recomienda además que “las que las autoridades concernientes verifiquen continuamente las estructuras de las edificaciones de instituciones educativas en construcción, que garanticen la correcta utilización de estos. También, controlar el cuidado y la conservación de dichas estructuras” (Abanto & Cárdenas, 2015, p. 169).

b.5) Ramírez Machado, B. y Salazar Valdez, P. (2015).

En la Tesis de Ramirez & Salazar (2015): “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos públicos y privados del distrito de la Victoria”. Lambayeque – Perú, Concluye que:

El método utilizado en la presente investigación (Fema 154) se puede aplicar en el Perú siempre y cuando se establezcan factores

equivalentes con respecto a la zona sísmica y tipología del suelo. Además, se podría aplicar para evaluar áreas de considerable dimensión en territorio peruano, debido a que sus resultados servirían para tomar medidas de prevención antes del desastre (Ramirez & Salazar, 2015).

“En las instituciones educativas analizadas se presentan factores que varían la puntuación en los resultados como zonificación sísmica (alta), tipología del suelo (suelos blandos) y el sistema estructural (pórticos)” (Ramirez & Salazar, 2015, p. 190).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Los sismos

Según el autor los sismos se definen como liberaciones de energía súbitas que se originan bajo la corteza terrestre ocasionando sacudimiento del suelo. En el territorio peruano los sismos se producen debido al proceso de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana (Velásquez, 2006).

“En la costa peruana se produce el fenómeno de subducción donde la placa Nazca se introduce debajo de la placa Sudamericana. Cuando se presenta un movimiento relativo entre estas dos placas se generan ondas sísmicas, que originan movimiento del suelo” (Velásquez, 2006, p. 5).

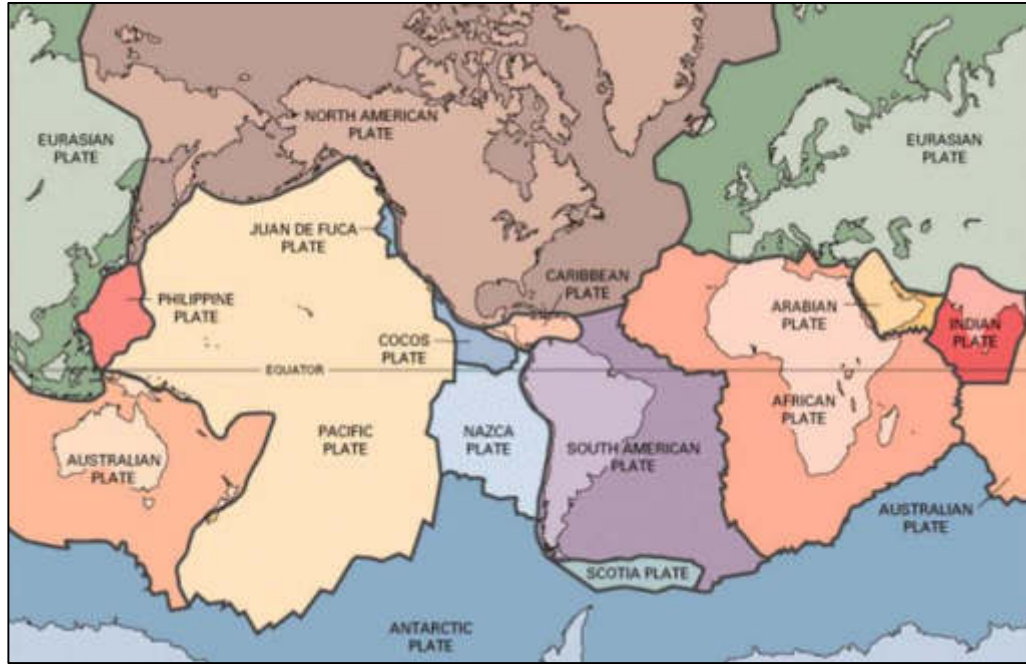


Ilustración 1. Placas tectónicas

Fuente: Wegener, 2018

Velásquez (2006), considera que para estudiar los sismos es importante saber el foco donde se origina el terremoto y el epicentro, que es una proyección del foco hacia la superficie de la corteza terrestre.

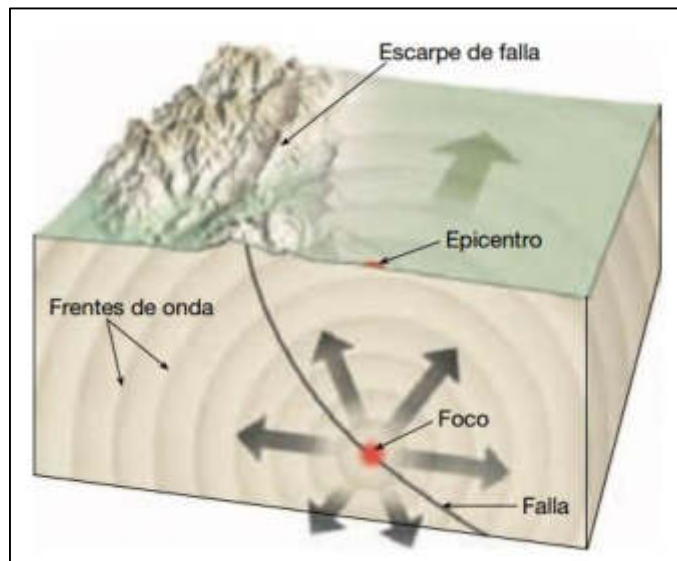


Ilustración 2. Localización del hipocentro y epicentro durante un sismo

Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F., 2001.

Los movimientos sísmicos se pueden determinar en función de la magnitud y la intensidad.

a) Magnitud

Según Kuroiwa (2002), la magnitud consiste en la medición indirecta de la totalidad de energía liberada a causa de las ondas sísmicas durante un movimiento telúrico y puede evaluarse con las amplitudes de ondas que registran los sismógrafos.

Kuroiwa (2002), precisa que la que propuso Richter es la magnitud más utilizada, que se expresa en números arábigos, con aproximación a las décimas. Por ejemplo, la magnitud de 7.8 del sismo ocurrido en Ancash en el año 1970.

b) Intensidad

Según Kuroiwa (2002), la intensidad es la estimación práctica de los movimientos de la corteza terrestre, a través de la percepción que tiene el hombre de los movimientos sísmicos en el ambiente en que habita.

“Entre 1989 y 1992, se desarrolló una nueva escala aplicable a los países de la costa occidental de Sudamérica, la MMA-92 la Escala Mercalli Modificada para los Países Andinos, cuya primera propuesta se terminó de elaborar en 1992” (Kuroiwa, 2002, p. 101).

c) Escalas de magnitud sísmica

Ramírez & Salazar (2015), afirman que la magnitud, determina la cantidad de energía liberada durante un evento sísmico, utilizando instrumentos como el sismógrafo (p. 20).

“Las escalas de magnitud son: escala de Richter (ML), escalas según el tipo de onda sísmica (mb y Ms). y la escala de Kanamori (Mw)” (Ramírez & Salazar, 2015, p. 20).

d) Escalas de Intensidades Macrosísmicas

Ramírez & Salazar (2015), mencionan que las escalas sísmicas más utilizadas del mundo usan una clasificación arbitraria que se basa en las consecuencias observadas y estas poseen doce grados de intensidad, los cuales tienen una aproximada equivalencia entre sí.

“La escala MSK es una de las escalas ampliamente analizada en varias reuniones científicas internacionales entre 1962 y 1965. En Perú, se adaptó esta escala a las condiciones nacionales en 1979, y se aplicó al terremoto de Arequipa de 1979” (Ramírez & Salazar, 2015, p. 20).

2.2.2. Sismicidad en el Perú

Tavera (2005), afirma que debido al proceso de interacción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana con una velocidad de 8 a 10 cm por año se produce la mayor parte de la acción sísmica en el territorio peruano.

“El margen continental oeste de sudamérica es uno de los más activos y de los bordes de placa el mayor en la Tierra. Como resultado de este proceso se ha formado la Cordillera de los Andes en diferentes etapas orogénicas” (Tavera, 2005, p. 3).



Ilustración 3. Proceso de convergencia de la placa de Nazca y la placa sudamericana

Fuente: Bernal, I. & Tavera, H. (2002)

Según Norma E-030 (2018), el mapa del territorio peruano está dividido en cuatro zonas sísmicas, de acuerdo a la distribución espacial de la sismicidad observada, la particularidad de los eventos telúricos y su disminución con la distancia epicentral, así como en el estudio íntegro de la corteza terrestre y sus deformaciones y movimientos.

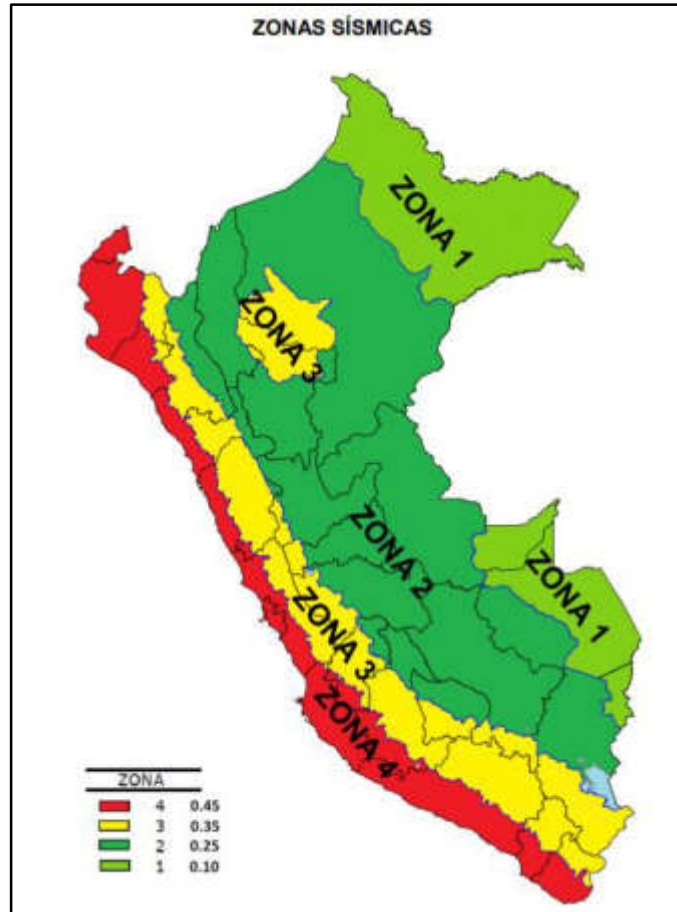


Ilustración 4. Las Zonas sísmicas en el Perú

Fuente: Norma E-030 Diseño Sismorresistente, 2017

Según Norma E-030 (2018), se consigna un coeficiente Z a cada una de las zonas como se señala en la Tabla N° 1. El factor se interpretará como la máxima aceleración horizontal del suelo rígido siendo probable en un 10 % que sea superada dentro de 50 años. El coeficiente Z es una parte de la aceleración de la gravedad (g).

Tabla 1. Factores de Zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E-030 Diseño sismorresistente, 2017

Ramírez y Salazar (2015), indican que en el Perú existen estudios de Sismicidad de las fallas activas, y los sismos de gran magnitud en la Cordillera pueden alcanzar periodos de retorno de hasta 2000 años, además mencionan que en los últimos dos mil años no se ha registrado actividad sísmica alguna y señalan también, que debido a la ausencia de eventos sísmicos de gran intensidad, en un lugar donde se han presentado anteriormente, se considera de alto riesgo a causa de la gran acumulación de energía.

El tiempo de retorno de los sismos ha sido calificado de gran importancia para toda la región de la Costa, por lo que la Norma E.030 2018 Diseño sismorresistente, incluye parte del departamento de Lambayeque (distrito Chiclayo) como zona sísmica 4, por ser estimado como una zona de alta actividad sísmica.

2.2.3. Sismicidad en Lambayeque

INDECI (2003), menciona que el departamento de Lambayeque está ubicado en la llamada zona de subducción del Pacífico, la cual se desplaza paralela a la costa oeste del continente Sudamericano, que es donde ocurren con mayor frecuencia movimientos de la corteza terrestre, ocasionando actividades sísmicas de gran envergadura.

“La ciudad de Lambayeque está ubicada dentro de una zona de sismicidad intermedia a alta, pues se vio afectada por numerosos efectos sísmicos durante su historia” (INDECI, 2003, p. 24).

Según el mapa de Intensidades Sísmicas a nivel Nacional el distrito de Chiclayo está dentro de la intensidad VI según Mercalli (Figura 5).

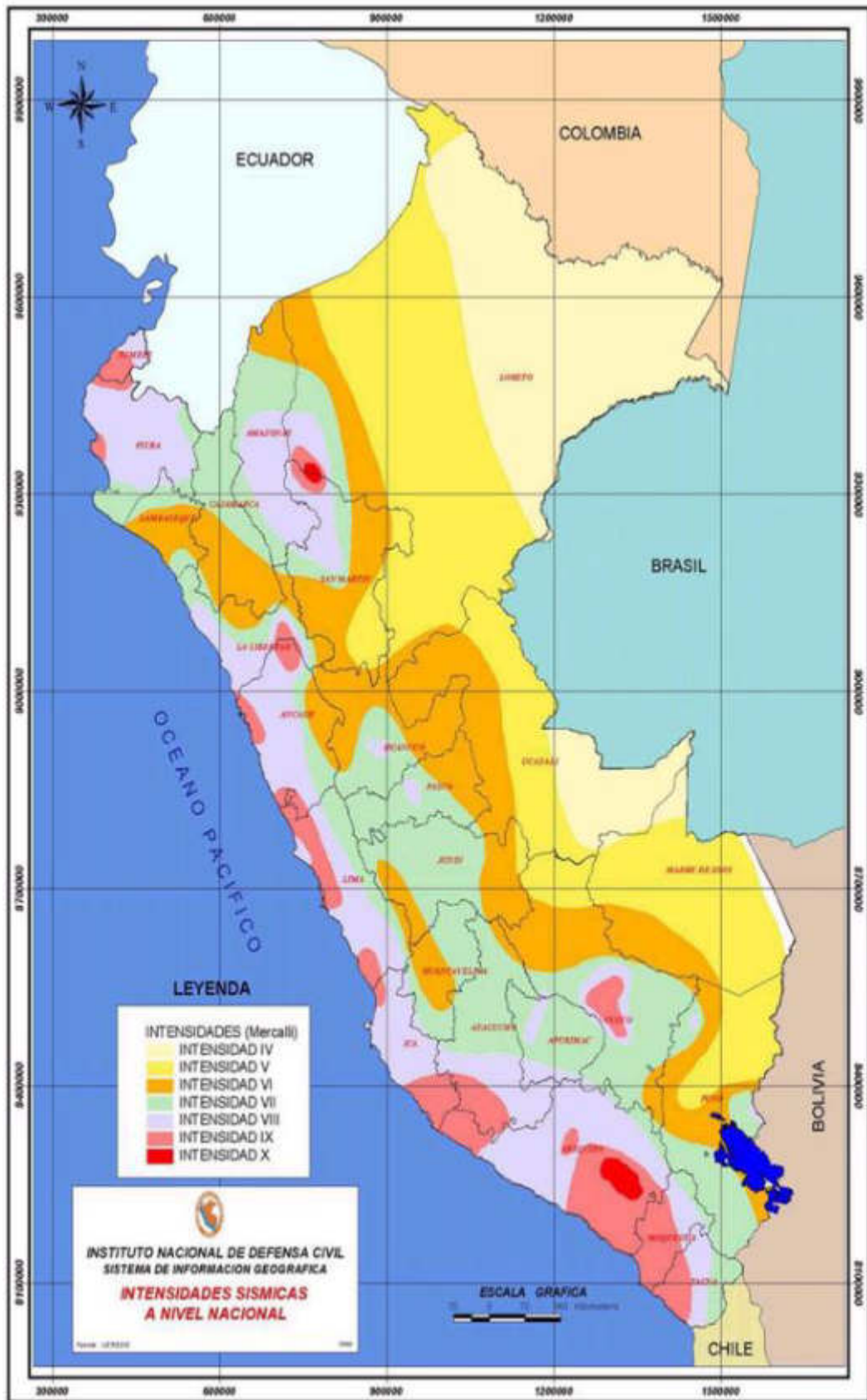


Ilustración 5. Mapa de intensidades sísmicas en el Perú

Fuente: INDECI, 2003

Tabla 2. Sismos históricos del norte del Perú

Fecha del evento	Lugar epicentro	Magnitud	intensidad
23 de marzo 1606	Zaña, Lambayeque	8	
6 de enero de 1725	Huaylas, arrasó el pueblo cerca de Yungay	7	7
2 de septiembre de 1759	entre Lambayeque y Huamachuco	6.5	6
2 de enero de 1902	Casma y Chimbote, sentido en Chiclayo		
28 de setiembre de 1906	Lambayeque	7	7
20 de junio de 1907	Chiclayo, Lambayeque	6.75	6
20 de mayo de 1917	Trujillo y Chiclayo	7	6
21 de junio de 1937	Chiclayo, Lambayeque	7	7
8 de mayo de 1951	Chiclayo, Lambayeque		4
12 de diciembre de 1953	Nor oeste del Perú		7
19 de agosto de 1955	Trujillo, se sintió en Chiclayo, Piura y Lima		6
8 de agosto de 1957	Noreste del Perú		6
20 de noviembre de 1960	Costo de Lambayeque	6.75	
3 de febrero de 1969	Chiclayo, Lambayeque	7	7
31 de mayo de 1970	Ancash (viii), se sintió en Chiclayo (vi)	6	8
9 de diciembre de 1970	Nor - oeste del Perú	7.2	8

Fuente: INDECI, 2003

Tabla 3. Sismos en el Departamento del Lambayeque

SISMOS EN LAMBAYEQUE (2010 - 2018)					
Fecha	Hora	Profundidad	Magnitud	Intensidad (Escala Mercalli Modificada)	Epicentro
Miércoles 26 de Mayo de 2010	01 horas - 27 minutos (Hora Local)	52 km Profundidad Superficial	3.8 ML	II en Chiclayo	45 km al Nor-Oeste Lambayeque
Lunes 16 de Agosto de 2010	22 horas - 22 minutos (Hora Local)	85 km Profundidad Intermedia	5.0 ML	IV-V en Olmos,	44 km al Norte de Olmos, Lambayeque
Sábado 24 de Marzo de 2012	01 horas - 52 minutos (Hora Local)	51 km Profundidad Superficial	4.4 ML	II en Lambayeque, Olmos	54 km al Nor-Oeste de Lambayeque
Viernes 07 de Setiembre de 2012	07 horas - 26 minutos (Hora Local)	53 km Profundidad Superficial	4.4 ML	IV en Olmos; II-III en Chiclayo	28 km al SO de Olmos
Viernes 19 de Octubre de 2012	10 horas - 42 minutos (Hora Local)	30 km Profundidad Superficial	4.3 ML	II en Chiclayo	88 km al SO de Chiclayo
Domingo 16 de Diciembre de 2012	20 horas - 18 minutos (Hora Local)	38 km Profundidad Superficial	4.6 ML	III-IV en Islas Lobos de Afuera II en Pimentel	103 km al Oeste de Pimentel, Chiclayo.
Lunes 8 de Abril del 2013	19 horas - 32 minutos (Hora Local)	55 km Profundidad Superficial	4.4 ML	II en Olmos	74 km al Oeste de Olmos, Lambayeque
Domingo 11 de Agosto del 2013	21 horas 27 minutos (Hora Local)	58 km Profundidad Superficial	4.5 ML	III en Olmos	46 km al SO de Olmos, Lambayeque
Sábado 17 de Agosto del 2013	08 horas 29 minutos (Hora Local)	30 km Profundidad Superficial	4.3 ML	II en Pimentel	139 km al Oeste de Pimentel, Chiclayo
Jueves 14 de noviembre del 2013	10 horas 02 minutos (Hora Local)	60 km Profundidad Superficial	5.2 ML	IV en Olmos	42 km al O-NO de Olmos, Lambayeque
Martes 19 de noviembre del 2013	09 horas 30 minutos (Hora Local)	51 km Profundidad Superficial	4.2 ML	II en Olmos	36 km al Oeste de Olmos, Lambayeque
Domingo 17 de mayo del 2015	06 horas - 01 minutos (Hora Local)	34 km Profundidad Superficial	4.3 ML	II en Pimentel	62 km al Oeste de Pimentel, Chiclayo
Miércoles 24 de junio del 2015	22 horas - 07 minutos (Hora Local)	22 km Profundidad Superficial	4.3 ML	II en Pimentel	73 km al O-NO de Pimentel, Chiclayo
Lunes 06 de julio del 2015	06 horas - 17 minutos (Hora Local)	17 km Profundidad Superficial	4.9 ML	III-IV en Pimentel	93 km al Oeste-SO de Pimentel, Chiclayo
Domingo 13 de septiembre del 2015	13 horas - 12 minutos (Hora Local)	38 km Profundidad Superficial	4.6 ML	II-III en Olmos	60 km al SE de Sechura, Sechura
Viernes 20 de noviembre del 2015	16 horas - 28 minutos (Hora Local)	32 km Profundidad Superficial	4.6 ML	IV en Pinchollo	78 km al Oeste de Pimentel, Chiclayo
04 de Octubre del 2016			4 ML		40 km al Oeste de Olmos, Lambayeque
domingo 16 de Octubre del 2016	08 horas - 04 minutos (Hora Local)	14 km Profundidad Superficial	5.3 ML	III-IV en Pimentel	48 km al SO de Pimentel, Chiclayo
11 de Junio del 2016			4.2 ML		31 km al SO de Olmos, Lambayeque
22 de setiembre del 2017	02 horas - 19 minutos (Hora Local)				70 km del balneario de pimentel, Chiclayo
Jueves 16 de noviembre del 2017	19 horas - 33 minutos (Hora Local)	29 km Profundidad Superficial	4.7 ML	II en Chiclayo	134 km al Oeste-SO de Chiclayo
Martes 26 de diciembre del 2017	13 horas - 47 minutos (Hora Local)	108 km Evento de Foco Intermedio	4.8 ML	III en Lambayeque	34 km al NE de Olmos, Lambayeque
Sabado 10 de febrero del 2018	12 horas - 54 minutos (Hora Local)	33 km Profundidad Superficial	4.1 ML	II en Chiclayo	83 km al SO de Chiclayo

Fuente: INDECI, 2003

a) Morfología del suelo en la Región Lambayeque

Según Ramírez & Salazar (2015), el departamento de Lambayeque está localizado en la región Costa en su mayoría (desde la costa hasta la zona andina). El suelo tiene un relieve poco accidentado, con pequeñas colinas y llanuras altas, formadas gracias a los ríos que se originan en los contrafuertes de la Sierra.

“La región Lambayeque tiene una superficie continental de 14, 231.30 km² (1.10% del territorio nacional). Desagregado por provincias el territorio corresponde a: Chiclayo 3, 288.1 km², Ferreñafe 1, 578.6km² y Lambayeque 9, 364.6km²” (Ramírez & Salazar, 2015, p. 34).

Además, Ramírez & Salazar (2015), mencionan que el suelo del valle Chancay, se asienta sobre estratos de suelos finos, suelos sedimentados, suelos heterogéneos y suelos sumergido no saturado, debido a esto se presentan problemas de capacidad portante del terreno, asentamientos diferenciales y suelos expansivos, teniendo en cuenta el fenómeno producido por la variación de la capa freática.

Ramírez & Salazar (2015), indican que es muy importante realizar estudios de mecánica de suelos para predecir su comportamiento dinámico ya que las condiciones del suelo son los factores más importantes en cuanto a la evaluación de los daños producidos en una ciudad. También, señalan que la predicción de la vibración del suelo ocasionado por los eventos sísmicos que influirán en su comportamiento es uno de los desafíos que se proponen en la actualidad en el campo de ingeniería.

“El diseño sismo resistente requiere determinar previamente las características de los sismos esperados en una zona, que afectarán

previsiblemente a las edificaciones asentadas en la misma, durante su tiempo de vida útil” (Ramírez & Salazar, 2015, p. 34).

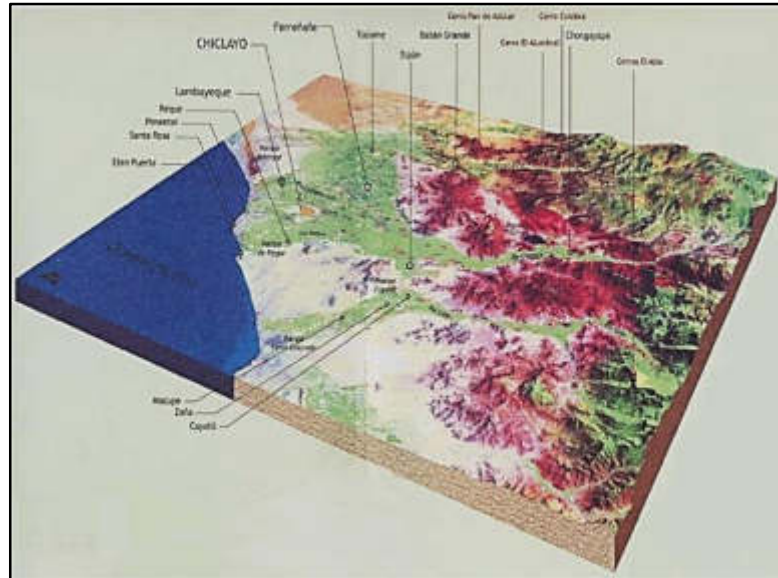


Ilustración 6. Relieve topográfico de la región Lambayeque

Fuente: Atlas regional del Perú, 2003.

b) Geotecnia del suelo de la Región Lambayeque

“De acuerdo a un estudio de Plan de prevención, analizaron los esfuerzos y deformaciones del suelo en el área urbana de la ciudad de Chiclayo y alrededores, determinando el comportamiento que tendrá ante la presencia de cargas estáticas y dinámicas” (Ramírez & Salazar, 2015, p. 26).

En la Tesis Microzonificación de la ciudad de Chiclayo y zonas de Expansión para la Reducción de Desastres-2001 se identificaron 4 sectores como muestra en la figura 07.

El área de estudio de la presente investigación, está ubicada en el sector II, “aquí corresponde estratos de suelos de Arenas con Finos, Arenas Arcillosas. Debido a la presencia de finos el suelo tiene mayor capacidad

de soportar cargas. Su capacidad portante del suelo varía entre 0.70 a 0.90 kg/cm²” (INDECI, 2003, p. 73).

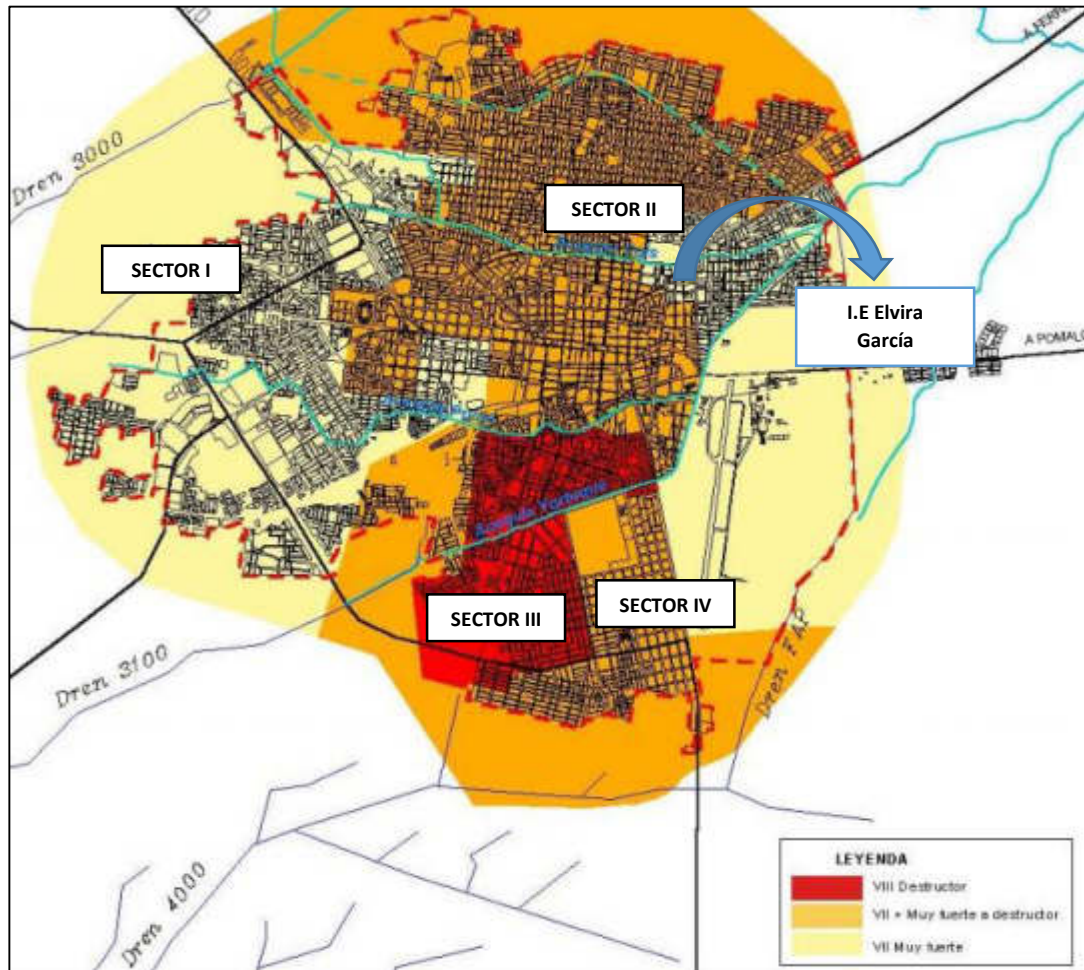


Ilustración 7. Mapa geotécnico de la Ciudad de Chiclayo

Fuente: INDECI, 2003

c) Topografía de Lambayeque

“Presenta una topografía plana en la parte correspondiente al casco urbano. En la parte Sur Este presenta elevaciones, y en la Parte sur oeste está rodeada por dunas de arena” (INDECI, 2003, p. 39).

2.2.4. Vulnerabilidad Sísmica

Picón y Vargas, (2011) mencionan en su proyecto de investigación que el termino vulnerabilidad sísmica se relaciona más con estructuras o edificaciones que tienden a sufrir daños ante presencia de un evento sísmico. Asimismo, indican que una edificación es vulnerable sísmicamente si es que no cumple con los parámetros de diseño sismorresistente de las normas actuales, y también si luego de realizar un análisis se llega a la conclusión que el sistema estructural utilizado no es lo suficientemente resistente ante acciones de sismo.

Según Caballero (2007), “El concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos” (p. 43).

También, Caballero (2007) afirma que “el conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requerido para la reducción de los efectos provocados por movimientos del terreno” (p. 44).

Según Navia & Barrera (2007) señalan que la geometría estructural, procesos constructivos y características de la estructura influyen en la vulnerabilidad sísmica. Igualmente, complementan diciendo que si realizamos un análisis del nivel de repercusión de que tienen las acciones sísmicas en una estructura, se volverá una tarea muy complicada, ya que las particularidades o características de cada estructura nos llevan a un infinito número de variables a analizar.

a) Vulnerabilidad estructural

Organización Panamericana de la Salud (2004), de ahora en adelante llamada OPS indica: “se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes que mantienen al edificio en pie ante un sismo intenso. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas” (p. 35).

“La ductilidad y redundancia estructural son los medios más efectivos ante el colapso de una estructura, el colapso de muchas de estas durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de los elementos estructurales con ductilidad o resistencia insuficiente” (Gonzáles, 2017, p. 17).

Según Gonzáles (2017), señala que post un evento sísmico severo es frecuente ver daños en columnas, como fallas por esfuerzos de flexo-compresión (pandeo de barras longitudinales y aplastamiento de la sección de concreto), grietas en dirección vertical y diagonal estas últimas provocadas por esfuerzos de cortante. También afirman que, en elementos horizontales como vigas, presentarán grietas en dirección diagonal y fallas en el acero de confinamiento, falla en el acero longitudinal y aplastamiento en el concreto producto de los esfuerzos por flexión causados por acciones sísmica.

b) Vulnerabilidad no estructural

OPS (2004) manifiesta que una edificación o estructura puede quedar sin colapsar, pero no apto para seguir funcionando después de ocurrido un evento sísmico, esto debido a todos los daños no estructurales que pueden presentarse. Asimismo, reitera que los eventos sísmicos leves son los más frecuentes y pueden afectar significativamente a todos los elementos que no son calificados como estructurales; a diferencia de los elementos

estructurales serán afectados por los sismos poco usuales y catalogados como severos.

También la OPS (2004) alega que como la probabilidad de que ocurra un evento sísmico moderado es alta y a su vez dañar a los elementos no estructurales, es importante la toma de medidas para así salvaguardar estos componentes, que en su mayoría los costos de estos elementos son mucho mayor que el de los estructurales.

La OPS (2004) avala: “los sismos movimientos sísmicos de menor intensidad pueden causar daños no estructurales mayores, sin afectar de manera importante a elementos estructurales” (p. 83).

c) El peligro sísmico

Kuroiwa (2002) certifica que el peligro sísmico es el nivel al que está expuesto un territorio ante eventos de la naturaleza dentro de un determinado lapso de tiempo, sin considerar alguna estructura existente que en dicho lugar. Generalmente, los costos son muy altos y poco se puede hacer para mitigar el peligro es poco y muy costoso lo que se puede hacer para reducir el peligro.

d) El riesgo sísmico

Kuroiwa (2002) indica que “el riesgo es, el resultado de la exposición de la construcción hecha por el hombre, con el grado de vulnerabilidad que le es inherente, frente al peligro al que se verá sometida” (p. 5).

e) Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica

Cárdenas (2008) enuncia que “para la realización de un análisis de vulnerabilidad de una edificación se debe tener conocimiento de su demanda de carga y de su resistencia en servicio” (p. 93)

Cárdenas (2008), a su vez, afirma que en la actualidad existen distintas metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica en distintas edificaciones. Todos estos tipos de evaluación se clasifican generalmente en cualitativos y cuantitativos.

Cárdenas (2008) manifiesta que los métodos de tipo cualitativo usan características propias de la edificación para describirla y están coligados índices generales que han sido graduados como consecuencia de la experimentación con edificaciones ya construidas, posibilitando reconocer el grado de daño y riesgo.

Según Cárdenas (2008) “dentro de dichas metodologías se encuentran, el Sistema del Ministerio de Construcción de Japón, el mexicano de evaluación, el ATC-21, y el del Dr. Hirosawa” (p. 93).

Por otro lado, los métodos cuantitativos, según Cárdenas (2008), “se basan típicamente en análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas; estos diferencian el material constituyente de la estructura, ya que su objetivo principal es predecir su posible comportamiento” (p. 93)

2.2.5. Los centros educativos en el País

Astorga & Aguilar (2006) indican que “generalmente en zonas urbanas cada centro educativo primario y secundario

está formado por dos o más pabellones de concreto armado o albañilería de uno o dos pisos, con plantas rectangulares de dos o más aulas contiguas por nivel” (p. 38).

Además, Astorga & Aguilar (2006) mencionan que los espacios designados para biblioteca y administración en general se encuentran alojados en estas edificaciones separados por muros de tabiquería. Arquitectónicamente, los centros educativos del Perú son parecidos, sin embargo, algunos presentan material rustico como barro y quincha.

Astorga y Aguilar (2006) agregan que, en contraparte, en zonas no urbanas las instituciones educativas tienen por lo general un solo módulo de aulas. Son edificaciones de un solo nivel construido con material de adobe o liviano y por lo general, no hubo supervisión de especialistas en obra al momento de su construcción.

2.2.6.Efectos sísmicos en las instituciones educativas

Según Tavera (2005), “las edificaciones responden a las aceleraciones transmitidas desde el suelo cuando tiembla, a través de la cimentación. La inercia causa la deformación de la estructura, produciendo concentración de esfuerzos en muros débiles o en juntas, resultando en daños y colapso” (p. 45)

Kuroiwa (2010) señala que los eventos sísmicos producidos en su mayoría en el territorio peruano dejaron como resultado grandes daños en los centros educativos. La falla de columna corta siempre se presenta en un gran número de edificaciones con uso pedagógico.

Agrega Kuroiwa (2010) que “las instituciones educativas se convierten así en edificaciones sumamente vulnerables, en la tabla siguiente se muestra las edificaciones que fue necesario reparar después de sismos ocurridos en Perú” (p.109).

Tabla 4. Uso de los edificios reparados y reforzados

USO	Nº	%
Escuelas	68	47
Oficinas	30	20
Hospitales	14	10
Hoteles	9	6
Industriales	8	6
Otros Usos	16	11
Total	144	100%

Fuente: Kuroiwa, 2010

Kuroiwa (2010) afirma que para cumplir con los lineamientos propuestos por la norma de diseño sismorresistente (1997), es importante reforzar la estructura con placas de concreto armado, propiamente aislados de los muros de cerramiento o tabiquería, en el sentido más frágil de la edificación en el frontis y fachada posterior, anulando de esa manera la falla por columna corta.

Asimismo, Kuroiwa (2010) indica que “la Norma de 1997 incrementó la rigidez aproximadamente en 30% en la dirección flexible, la distorsión permisible se redujo de 10/1000 a 7/1000 y el coeficiente de uso “U” para centros educativos aumentó de 1.3 a 1.5, siendo edificaciones esenciales” (p.110).

Según Kuroiwa (2010), la falla por columna corta en instituciones educativas no se presenta solamente en el país. En el terremoto de Chi Chi, (1999), aproximadamente el 50% de las edificaciones de concreto armado dañadas estaba constituido por centros educativos con columnas cortas.

2.2.7. Institución educativa Elvira García y García

Inicialmente, fue creada un 21 de febrero de 1962, a través de Resolución N° 1746, como “Colegio Nacional de Mujeres Elvira García y García”, independizándose del Institución Educativa San José del que hasta ese momento había sido filial. Su aniversario se celebra el primer día de junio, fecha en la cual nace en Lambayeque la ilustre educadora Elvira García y García (Expediente Elvira García y García).

Empieza a funcionar en un pequeño local ubicado en la calle Tarapacá – Urb. Campodónico, iniciando sus tareas pedagógicas el primero de abril del año 1962, contando con un plantel estudiantil de 84 alumnas, a cargo de la directora y fundadora Sra. Esperanza Rodríguez de Gil Aybar, y de siete miembros de la plana docente (Expediente Elvira García y García).

El ferviente anhelo de conseguir un establecimiento propio del colegio propició a organizar la invasión de un área de diez mil metros cuadrados de terreno del Pueblo Joven San Antonio. En el momento de su construcción tuvo también dificultades, ya que las autoridades de ese entonces pusieron impedimentos a este proyecto, pero gracias a la ayuda de padres y vecinos de la Urb. Campodónico, se logró concluir la infraestructura del colegio que hoy en día es una de las instituciones más importantes de Lambayeque (Expediente Elvira García y García).

2.2.8. Método de Hirosawa

Según Iglesias (1986), “el método propuesto por Hirosawa es utilizado oficialmente en Japón por el Ministerio de Construcción en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado” (p. 120).

Además, Iglesias (1986), reitera que “el método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basan en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta” (p. 120).

Según Pariona (2014), el método Hirosawa comprende tres niveles de estudio, siendo cada uno más exacto que su predecesor, apoyados en un análisis de cómo se comportará y cuanto resistirá el sistema estructural utilizado. Y los niveles de análisis son:

- **Método de primer orden:** basado en la geometría de los elementos que conforman la estructura, este primer nivel de análisis tiene como propósito la evaluación de un diagnóstico del peligro sísmico que afecta a los distintos sistemas estructurales. También menciona que en este nivel el método Hirosawa evalúa edificaciones de albañilería y concreto armado (Pariona, 2014).
- **Método de segundo orden:** fundamentado en asumir un comportamiento estructural de edificio cortante para así estimar la resistencia última de la edificación. Debido a la presencia de losa aligerada que actúa como un diafragma rígido los elementos

estructurales más frágiles serán los primeros en colapsar, seguido de los más dúctiles, al momento de alcanzar su máxima capacidad resistente calculada de un análisis de espectro (Pariona, 2014).

“El método considera también la geometría y morfología del sistema, así como el nivel de daño existente, deterioro en el tiempo del sistema estructural e influencia de las condiciones locales de la zona donde se encuentre el edificio” (Pariona, 2014, p.20).

- **Método de tercer orden:** incluye los criterios de los niveles anteriores, considerando un mecanismo de colapso real de la edificación, realizando un análisis tiempo-historia y considerando la no linealidad del sistema estructural. Este nivel de estudio considera estructuras que presentan vigas que no son lo suficientemente resistentes, presentando así rotulas plásticas (Pariona, 2014).

El método, según Iglesias (1986) “fue propuesto originalmente para edificios de concreto armado de altura media existentes o dañados, del orden de seis a ocho pisos estructurados con muros o pórticos. Recientemente, el método se ha aplicado a edificios mixtos de hormigón armado y albañilería” (p.120).

Para establecer la vulnerabilidad estructural hay que considerar que:

- **Si $I_s \geq I_{so}$** , se puede decir que la edificación en estudio tendrá un comportamiento sísmico seguro frente a acciones sísmicas.

- Si $I_s < I_{so}$, se concluye que la edificación en estudio tendrá un incierto comportamiento frente a acciones sísmicas y, por lo que se considerará como inseguro.

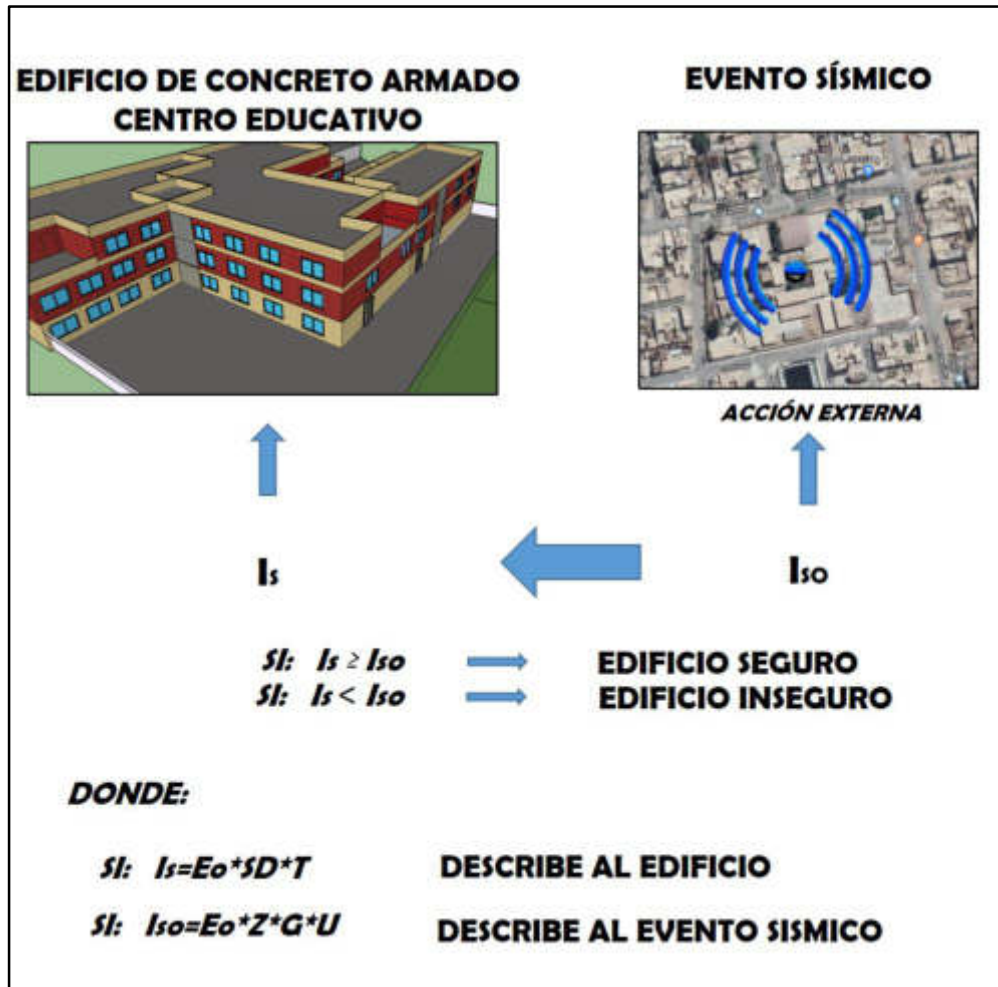


Ilustración 8. Esquema Método Hirosawa

Elaboración: Los autores.
Fuente: OPS, 2004.

a) Cálculo del I_s (Índice de vulnerabilidad estructural)

Se ha estimado en la presente investigación el uso del método de primer orden de Hirosawa, para determinar el índice de resistencia de la estructura o índice de vulnerabilidad estructural (I_s), y está expresado por la siguiente ecuación:

$$I_s = E_0 * SD * T \quad \dots \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

E0 = índice sísmico básico de comportamiento estructural

SD = índice de configuración estructural

T = índice de Tiempo de deterioro de la edificación

a.1) Cálculo del Índice de Comportamiento Básico Estructural (Eo)

Lezama (2015), citando a la OPS (2004), señala que “al aplicar el primer nivel de evaluación, el termino E0 se determina a partir de un cálculo simple de la resistencia ultima de corte de cada piso” (p. 113).

Calculando en cada dirección de la planta, Lezama (2015), citando a la OPS (2004), añade que “esta resistencia se calcula por la suma de los productos del área de la sección transversal de un muro o columna y de su resistencia de corte” (p. 113).

Si consideramos, según Lezama (2015), citando a la OPS (2004), “reducir este producto por un factor (α_i) que estima la presencia de elementos que alcanzan su resistencia a un nivel de deformación menor que el resto de elementos sismo resistentes, comparando columnas cortas con muros o columnas de concreto armado” (p. 113)

El índice Eo es directamente proporcional al coeficiente de resistencia C multiplicado por el de ductilidad F.

$$E_0 = \alpha C * F \quad \dots \quad \text{Ecuación 2}$$

Para calcular el índice E_o , según la OPS (2004), “cualquier elemento vertical que conforma la estructura resistente a eventos sísmicos deberá encontrarse de una de las siguientes categorías” (p. 141):

- **Columnas cortas de concreto armado:** la OPS (2004), menciona que son aquellas columnas en cuya relación h_0/D es igual o menor de 2, donde h_0 es la altura libre y D es la dimensión del área transversal. El comportamiento ante acciones sísmicas de estas columnas está condicionado por una falla frágil, debido a la reducida capacidad de deformación inelástica y al bajo nivel de deformación en el que se alcanza la resistencia.
- **Columnas de concreto armado:** según la OPS (2004), son aquellas columnas cuya relación h_0/D es mayor que 2.
- **Muros de concreto armado:** como afirma la OPS (2004), son aquellos elementos de concreto armado cuya relación del lado mayor entre el menor del área transversal es mayor que 3.
- **Muros de relleno de albañilería:** como manifiesta la OPS (2004), son todos los muros interiores de material albañilería, con poco o ningún elemento de confinamiento, casi siempre ubicados en los vanos de la subestructura resistente (pórticos) sin ser aislados de ésta.
- **Muros de albañilería armada o confinada:** indica la OPS (2004) que, son “aquellos muros hechos de mampostería armada o confinada con elementos estructurales de concreto armado”.

El índice E_o puede ser calculado haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_1 * (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 * C_w + \alpha_3 * C_c\} * F \dots \text{ Ecuación 3}$$

Dónde:

- α_i : según la OPS (2004), “es el factor de reducción de la capacidad resistente de acuerdo con el nivel de deformación en que alcanzan la resistencia los elementos que controlan el comportamiento sísmico” (p.141).

Los valores de estos factores se dan en la Tabla 05, como detalla la OPS (2004), “cuando la capacidad sísmica está controlada por los elementos más frágiles (Tipo A), los menos frágiles (Tipo B) y los dúctiles (Tipo C) respectivamente” (p. 141).

- **np**: niveles de número pisos o de la edificación.
- **i**: Piso o nivel a evaluar.
- **Cmar**: índice de resistencia proporcionada por los muros de relleno de albañilería.
- **Csc**: índice de resistencia proporcionada por las columnas cortas de concreto armado.
- **Ca**: índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería no reforzada o parcialmente confinada.
- **Cma**: índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería confinada.
- **Cw**: índice de resistencia proporcionada por los muros de concreto armado.
- **Cc**: índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de concreto armado.
- **F**: índice de ductilidad asociado a los elementos verticales.

Si

F = 1,0 si los valores de C_{mar}, C_a y C_{sc} son iguales a cero

F = 0,8 si los valores de C_{mar}, C_a y C_{sc} son distintos de cero

“En caso de que los muros de albañilería confinada controlen la capacidad resistente, el valor de F es igual a 1,0 considerando la capacidad de deformación inelástica que se logra con los elementos de confinamiento” (OPS,2004).

“La capacidad sísmica debe calcularse primero teniendo en cuenta la falla de elementos más frágiles; pero si la falla de este grupo no produce inestabilidad, la capacidad sísmica estima el próximo grupo y desprecia la resistencia de elementos que han fallado” (OPS, 2004).

Tabla 5. Valores de los coeficientes α_1

Tipo	α_1	α_2	α_3	Módulo de falla
A	1.0	0.7	0.5	Muros de relleno de mampostería o columnas cortas o muros de mampostería no reforzada y parcialmente confinada controlan la falla.
B	0.0	1.0	0.7	Muros de concreto reforzado controlan la falla.
C	0.0	0.0	1.0	Columnas de concreto reforzado controlan la falla.

Fuente: Lezama, 2015

El coeficiente $\frac{(n_p+1)}{(n_p+i)}$ es la relación entre el coeficiente de corte basal y el coeficiente de corte de cada nivel i , cuando estos esfuerzos de corte, en función del peso de la estructura, se encuentran por encima del piso a analizar.

Los C_i o índices de resistencia, se definen teniendo en cuenta las características y forma de refuerzo en los muros de concreto.

Las ecuaciones utilizadas son:

$$C_{mar} = \frac{0.6 * 0.85 * \tau_0 * \sum A_{mar}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j} \dots \text{ Ecuación 4}$$

$$C_{sc} = \frac{f_c}{200} * \frac{15 * \sum A_{sc}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j} \dots \text{ Ecuación 5}$$

$$C_w = \frac{f_c}{200} * \frac{0.6 * (0.45 * \tau_0 + 0.25 * \sigma_0) * \sum A_{ma}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j} \dots \text{ Ecuación 6}$$

$$C_a = C_{ma}$$

$$C_w = \frac{f'c}{200} * \frac{30 * \sum A_{m1} + 20 * \sum A_{m2} + 12 * \sum A_{m3} + 10 * \sum A_{m4}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j} \dots \text{ Ecuación 7}$$

$$C_c = \frac{f'c}{200} * \frac{10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j} \dots \text{ Ecuación 8}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia cilíndrica a la compresión del concreto.

$\sum A_{mar}$ = Sumatoria de las áreas de todos los muros de relleno de albañilería existentes en el nivel en evaluación en la dirección a analizar.

$\sum A_{sc}$ = Sumatoria del área de todas las columnas cortas de concreto armado del nivel a analizar.

$\sum A_{ma}$ = Sumatoria de todas las áreas de los muros de albañilería confinada del nivel en evaluación en la dirección a analizar.

$\sum A_{m1}$ = Sumatoria de todas las áreas de los muros de concreto armado del nivel a analizar con columnas en ambos extremos, con cuantía de refuerzo horizontal mayor o igual que 1,2% y una esbeltez (HIL) del muro mayor que 2. A su vez, la resistencia al corte está controlada por la resistencia

de aplastamiento de la diagonal comprimida debido a su alta cuantía de refuerzo horizontal.

$\sum A_{m2}$ = Sumatoria de las áreas de los muros de concreto armado del piso en evaluación con columnas en ambos extremos y cuantía de refuerzo horizontal mínima. Además, la resistencia al corte es proporcionada principalmente por el refuerzo horizontal.

$\sum A_{m3}$ = Suma de las áreas de los muros de hormigón armado del piso en evaluación, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos, una esbeltez del muro igual o menor que 2 y una cuantía de armadura mínima. En estos muros la resistencia al corte está definida por la carga de agrietamiento diagonal del concreto, debido a su mínima cuantía de armadura de refuerzo.

$\sum A_{m4}$ = Sumatoria de las secciones de los muros de concreto armado del piso analizado, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos y una esbeltez del muro mayor a 2. La resistencia al corte en estos muros estará dada por las ecuaciones consideradas en la norma ACI-318 (OPS, 2004, p. 147).

$\sum A_{c1}$ = Sumatoria de las secciones de las columnas de concreto armado donde al dividir la altura libre (h) y su ancho (D) debe ser menor a 6 (OPS, 2004, p. 147).

$\sum A_{c2}$ = Sumatoria de las secciones de las columnas de concreto armado donde al dividir la altura libre (h) y su ancho (D) debe ser igual o mayor a 6 (OPS, 2004, p. 147).

W_j = Peso del piso (j).

τ_o = Resistencia básica de corte de la albañilería.

σ_o = Tensión normal debido a esfuerzos axiales que producen las cargas gravitacionales de peso propio y las sobrecargas de según el uso de cada edificación (OPS, 2004, p. 147).

L = Largo del muro.

H = Altura del piso si el largo del muro (L) resulta igual o mayor que 3 metros o altura libre del muro si L es menor que 3 m (OPS, 2004, p. 147).

“Estas áreas se expresan en cm^2 , las resistencias, tensiones y pesos en kgf/cm^2 , kgf/cm^2 y kgf respectivamente. Los coeficientes de cada área corresponden a la resistencia al corte de los distintos tipos de elementos que forman el sistema sismo resistente, expresadas en kgf/cm^2 ” (OPS, 2004, p. 147).

a.2) Cálculo de Índice de Configuración Estructural (SD)

“Este coeficiente cuantifica la influencia de las irregularidades de la configuración estructural y de la distribución de rigidez y de masa en el comportamiento sísmico de la edificación” (OPS, 2004).

“La información para calcular SD se obtiene principalmente de los planos arquitectónicos y se complementa con visitas a terreno” (OPS, 2004, p. 147).

Todas las características de la edificación que se tienen en cuenta en la determinación de este coeficiente son la regularidad o irregularidad en planta, estrangulaciones que existe en cada planta, relación entre el largo y el ancho de cada planta, grosor de juntas de dilatación, dimensión y ubicación de patios interiores o atrios, existencia de ambientes subterráneos, uniformidad en las alturas de los pisos,

existencia de excentricidad de rigidez en cada planta analizada, irregularidad de la distribución de masas y de la rigidez de entrepiso de los pisos en altura, etc. (OPS, 2004).

El método de Hirosawa plantea calcular el coeficiente SD, al usar el método de primer orden de análisis de la vulnerabilidad con la siguiente fórmula:

$$S_D = \prod_{i=1}^{1=8} q_i \dots \text{ Ecuación 9}$$

Donde:

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 7 \text{ y } 8 \dots \text{ Ecuación 10}$$

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 6$$

Gi y Ri, son valores que recomienda Hirosawa y se señalan a continuación:

Tabla 6. Valores de Gi y Ri

ITEMS (qi)	Gi			Ri
	1,0	0,9	0,8	
Regularidad: ai	Regular (a1)	Mediano (a2)	Irregular (a3)	1,0
Relación largo – ancho: B=n/m	B <5	5 < B <8	B>8	0,5
Contracción de planta c=d1/do	0,8<c	0,5< C < 0,8	C< 0,5	0,5
Atrio o patio interior	Rap=0,1	0,1<Rap<0,3	0,3<Rap	0,5
Excentricidad de atrio o patio interior	f1=0,4 f2=0,1	f1>0,4 0,1<f2<0,3	0,4<f1 0,3<f2	0,25
Subterráneo	1,0<Ras	0,5<Ras<1,0	Ras<0,5	1,0
Junta de dilatación	0,01<s	0,005<s<0.01	s<0.005	0,5
Uniformidad de altura de piso	0,8<Rh	0,7<Rh<0,8	Rh<0,7	0,5

Fuente: Lezama, 2015.

A continuación, se detalla la descripción de cada una de las características:

- **Regularidad ai:**

a1: La planta es simétrica en cada dirección y el área de salientes es menor o igual al 10% del área total de la planta. Estas salientes, son consideradas en el caso que $l/b \geq 0,5$.

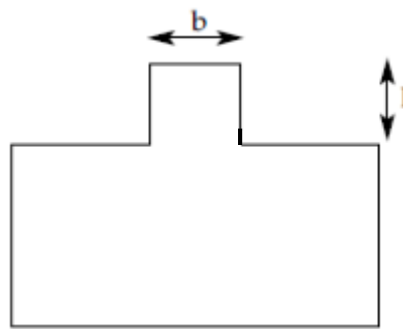


Ilustración 9. Relación l y b.

Fuente: OPS, 2004

a2: La planta no es regular, y el área de salientes es igual o menor que el 30% del área de la planta. Dentro de esta categoría se encuentran las plantas tipo L, T, U y otras.

a3: La planta es más irregular que el caso a2, y el área de salientes es mayor que el 30% del área de la planta.

- **Relación largo - ancho, B:**

La relación entre la mayor y menor dimensión en planta de la edificación. En las plantas de la forma L, T, U u otras se toma el lado mayor como 2**l*, para “*l*” señalado en la figura 10.

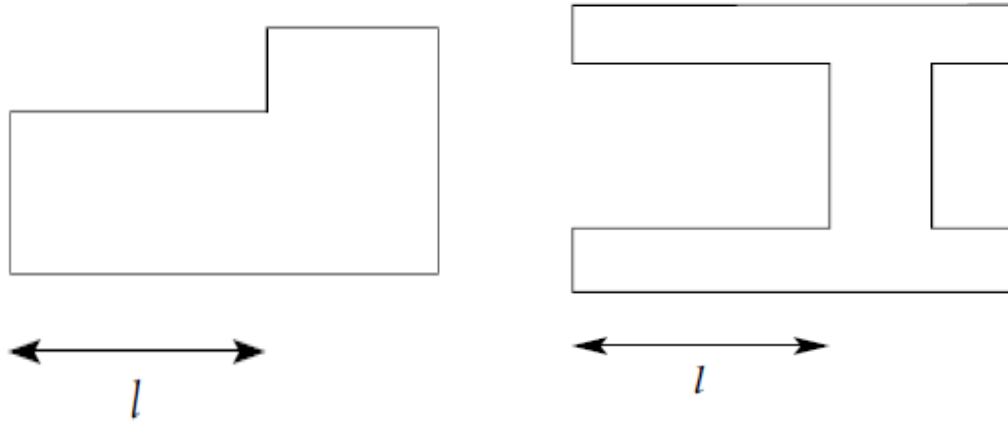


Ilustración 10. Razón entre largo y ancho

Fuente: OPS, 2004

- **Contracción de planta, c:**

Sucede cuando en cualquiera de los niveles, se reduce el área de la losa de piso desde el borde hasta el interior.

$$C = \frac{D_1}{D_0}$$

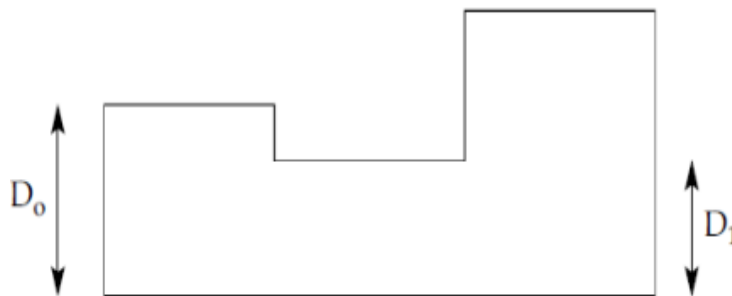


Ilustración 11. Contracción de planta

Fuente: OPS, 2004

- **Atrio o patio interior, Rap**

“Razón entre el área del atrio y el área total de la planta, incluida el área del atrio. Sin embargo, una caja de escaleras estructurada con muros de hormigón armado no se considera en este análisis” (OPS, 2004, p. 174).

- **Excentricidad de atrio o patio interior, f**

f1: Razón entre la distancia del centro de la planta al centro del atrio y la longitud menor de la planta.

f2: Razón entre la distancia del centro de la planta al centro del atrio y la longitud mayor de la planta.

- **Subterráneo, Ras**

Razón entre el área promedio de la planta de los subterráneos y el área promedio de la planta del edificio.

- **Junta de dilatación, s**

Este criterio se aplica a edificios que tienen juntas de dilatación. Razón entre el espesor de la junta de dilatación sísmica y la altura del nivel sobre el suelo donde se encuentra.

- **Uniformidad de altura de piso, Rh**

La razón entre la altura del piso inmediatamente superior al analizado y la altura de este. Para el caso del piso superior, el piso inmediatamente superior de esta ecuación es reemplazado por el piso inmediatamente inferior.

(OPS, 2004) señala que “el valor del coeficiente SD, según Hirosawa, se calcula usando el valor más desfavorable entre los obtenidos para

la característica en los diferentes pisos, valor que se asume como representativo del edificio completo” (p. 174).

a.3) Cálculo de Índice de Tiempo de Deterioro (T)

“Este índice cuantifica los efectos que produce el deterioro de la estructura, debido al paso del tiempo o a acciones de sismos pasados, y se calcula de información obtenida de visitas al edificio y de información que el propietario proporcione” (OPS 2004, p.150).

Para la determinación del tiempo de deterioro, podemos utilizar las Tablas 7 y 8; teniendo en cuenta que se emplea un único valor del índice T para la edificación, este valor debe corresponder al valor mínimo obtenido.

Tabla 7. Valores del índice T para diferentes causas y tipos de deterioro

Deformación permanente (T1)	
Característica	T1
El edificio presenta inclinación debido a asentamiento diferencial.	0,7
El edificio está construido sobre relleno artificial.	0,9
El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente	0,9
Tiene visible deformación de vigas o columnas.	0,9
No presenta signos de deformación.	1,0

Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo (T2)	
Característica	T2
Presenta filtraciones con corrosión visible de armaduras.	0,8
Presenta grietas inclinadas visibles en columnas.	0,9
Presenta grietas visibles en muros.	0,9
Presenta filtraciones, pero sin corrosión de armaduras.	0,9
Nada de lo anterior.	1,0

Incendios (T3)	
Característica	T3
Ha experimentado incendio, pero no fue reparado.	0,7
Ha experimentado incendio y fue adecuadamente reparado.	0,8
No ha experimentado incendio.	1,0

Uso del cuerpo o bloque (T4)	
Característica	T4
Almacena sustancias químicas.	0,8
No contiene sustancias químicas.	1,0

Tipo de daño estructural (T5)	
Característica	T5
Presenta daño estructural grave.	0,8
Presenta daño estructural fuerte.	0,9
Presenta daño estructural ligero o no estructural.	1,0

Fuente : Lezama, 2015.

Tabla 8 Clasificación de daños causados por un sismo

Tipo de daño	Descripción
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales. Grietas de menos de 0.5 mm de espesor en elementos de concreto armado.
Estructural ligero	Grietas de menos de 3 mm de espesor en muros de mampostería. Grietas de 0.5 a 1 mm de espesor en elementos de concreto reforzado.
Estructural fuerte	Grietas de 3 a 10 mm de espesor en muros de mampostería.

Estructural grave

Grietas de 0.5 a 1 mm de espesor en elementos de concreto reforzado.

Grietas de 3 a 10 mm de espesor en muros de mampostería.

Grietas de más de 1 mm de espesor en elementos de concreto armado.

Aberturas en muros de mampostería.

Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de concreto reforzado.

Agrietamiento de capiteles y consolas.

Desplome de columnas. Desplome del edificio en más de 1% de su altura. Asentamiento de más de 20 cm.

Fuente : Lezama, 2015.

b) Cálculo del I_{so} (índice de juicio estructural)

El índice I_{so} se calculará con la la siguiente ecuación:

$$I_s = E_{so} * Z * G * U \dots \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

E_{so} = Resistencia sísmica básica requerida.

Z = Factor de zona sísmica; su valor depende del peligro sísmico del lugar donde se ubica el edificio ($0.5 \leq Z \leq 1$).

G = Factor de influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas.

U = Factor de importancia del edificio por su uso.

“La resistencia sísmica básica (Eso) se ha establecido a partir del análisis de los daños de edificios durante un evento sísmico evaluado por Hirosawa en Japón” (OPS, 2004, p. 153).

“También se recomienda que esta resistencia se establezca a partir del requerimiento de resistencia elástica de las normas para la zona de mayor peligro sísmico (zona epicentral), reducida por un factor de reducción (R)” (OPS, 2004, p. 153).

b.1) Comparación de las Normas de Diseño Sismorresistentes peruana y japonesa

Según Luna (1998) que para obtener el índice de protección sísmica (Eso) se analizarán los parámetros similares y diferentes entre cada las Norma de Diseño Sismorresistente de cada país.

- Norma de Diseño Sismorresistente de Perú (Norma E.030 2018)

“Toda edificación y cada una de sus partes serán diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados” (Norma E.030 2018).

- Cortante Sísmico Lateral (Perú)

Según la Norma E.030 2018 señala que para calcular la fuerza cortante en la base de cada estructura y en cada dirección analizada se determinará por la ecuación siguiente:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Luego tenemos que:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Donde:

Z: El factor Z se define como la aceleración máxima del terreno con probabilidad de 10% de ser excedida en cinco décadas. Donde en una zona de mayor sismicidad Z toma el valor de 0.45 y en zona de menor sismicidad 0.1.

U: La Norma E.030 2018, clasifica a las edificaciones según su importancia y uso. El factor uso para colegios es 1.5.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR <i>U</i>
	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
A Edificaciones Esenciales	<p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</p>	1,5
B Edificaciones Importantes	<p>Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.</p> <p>También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.</p>	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Ilustración 12. Uso e importancia de las edificaciones

Fuente: Norma E.030 2018

S: la Norma E.030 2018, clasifica al factor suelo teniendo en cuenta el factor de zona (Z) como se muestra en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Factor de Suelo

Factor de Suelo (S)				
Suelo	So	S1	S2	S3
Zona				
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.05	1.20
Z2	0.80	1.00	1.05	1.40
Z1	0.80	1.00	1.05	2.00

Fuente: Norma E.030 2018

Elaboración: Los autores

C: La Norma E.030 2018, El factor de amplificación sísmica será condicionado según las características de sitio como se indica en la ecuación siguiente:

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)^{1.25} \leq 2.5$$

T: la Norma E.030 2018, El periodo fundamental en cada dirección de análisis será condicionado por el número de Pisos y sistema estructural de la edificación como se indica en la ecuación siguiente:

$$T = \frac{hn}{CT}$$

Donde:

CT= 35 para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos.

CT= 45 para edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean únicamente pórticos y cajas de ascensores y escaleras.

CT= 60 para estructuras de mamposterías y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sean fundamentalmente muros de corte y altura del edificio.

Tabla 10. Coeficientes de Reducción

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductibilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Norma E.030 2018

Elaboración: Los autores

- **Norma de Diseño Sismorresistente (Japón)**

Según la Norma japonesa se puede calcular el cortante sísmico lateral de cada entrepiso por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = C_i * \sum w_j$$

$$Q_i = C_i * g * m$$

$$S_a = C_i * g$$

Donde:

Ci: Coeficiente sísmico lateral

$$C_i = Z * R_t * A_i * C_o$$

$$S_a = Z * R_t * A_i * C_o * g$$

W_i: Peso del edificio por encima del piso de análisis. Según el código peruano determinará primero las fuerzas sísmicas a diferencia del código japonés que calcula primero las fuerzas cortantes. Y para el cálculo del peso a considerar se toma en cuenta la carga muerta más una fracción adecuada a la carga viva la cual se puede variar.

Z: coeficiente de zonificación de riesgo sísmico tiene el mismo concepto que la Norma E.030 2018 pero los valores a tomar están más cercanos a 1 que es el valor de mayor riesgo sísmico en todo el territorio japonés. Zona A es 1.0 (Zona de mayor sismicidad) y Zona de menor sismicidad Zona C igual a 0.8.

R_t: Coeficiente espectral de diseño, este factor se calculará considerando el tipo de perfil de suelo y periodo fundamental de la estructura considerándose así la amplificación dinámica y los espectros de respuesta para cada tipo de suelo. Como se muestran en las tablas siguientes:

T	T < T _c	T _c ≤ T ≤ 2T _c	2T _c ≤ T
R _t	1	1 - 0.2(T/T _c - 1) ²	1.6T _c /T

Tipo de Suelo		T _c
Tipo 1	(Hard Soil)	0.40
Tipo 2	(Medium Soil)	0.60
Tipo 3	(Soft Soil)	0.80

T: para determinar el periodo fundamental de diseño se utiliza la ecuación siguiente:

$$T = 0.02 * h$$

Ai: el factor de distribución de corte lateral es otra diferencia entre las normas. En este factor se considera tanto el periodo fundamental de la estructura como también la distribución de masas de en la edificación como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$A_i = 0.298 * \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) z$$

$$\alpha_i = \frac{\sum W_j}{\sum W_j}$$

Co: el coeficiente estándar tiene dos valores definidos para sismo severo y moderado (1.0 y 0.2 respectivamente). Y así podemos comprar estos valores con los valores dados por la Norma E.030 2018 la cual se basa en la gran amplificación registrada en grandes sismos **en los cuales** las edificaciones representan mayores coeficientes sísmicos apreciables.

b.1) Cálculo del índice de protección sísmica (Eo)

Para determinar el índice Eso se relacionan los índices de juicio estructural (Iso) y el espectro de pseudo aceleraciones de cada Norma, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{Iso \text{ Perú}}{Iso \text{ Japón}} = \frac{Sa \text{ Perú}}{Sa \text{ Japón}}$$

2.3. Definición de términos básicos

Los términos básicos más importantes de la presente investigación se definen a continuación:

a) Factor de amplificación sísmica (C)

Según la Norma E-030 (2017) es definido como “el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo”

b) Factor de importancia del edificio por su uso (U)

La estructura puede ser clasificada de acuerdo a las categorías especificadas en la tabla de la Norma E-030 (2017) y dicho factor de importancia se usará según la clasificación a la que pertenece. Para edificios con aislamientos sísmicos en la base se considera $U=1$.

c) Factor de influencia de las condiciones topográficas (G)

Según Mattos (2014) este factor está representa la intensidad causada por acciones sísmicas en el terreno las cuales están condicionadas por la zona sísmica y la relación suelo-estructura.

d) Factor de zona sísmica (Z)

De acuerdo a la Norma E-030 (2017), el mapa del territorio peruano está particionado en cuatro zonas sísmicas, de acuerdo a la distribución en el espacio de la sismicidad observada, la particularidad de los eventos telúricos y su disminución con la distancia epicentral, así como en el

completo análisis de los movimientos y deformaciones ocurridos en la corteza terrestre.

e) Índice de configuración estructural (S_d)

“Este coeficiente cuantifica la influencia de las irregularidades de la configuración estructural y de la distribución de rigidez y de masa en el comportamiento sísmico de la edificación” (OPS, 2004).

f) Índice de deterioro de la edificación (T)

La OPS (2004) lo define como el coeficiente que mide los efectos producto del deterioro de la edificación, debido a la antigüedad y a los eventos sísmicos ocurridos anteriormente. Se calcula en base a toda la información recopilada in situ y de datos proporcionados por el propietario.

g) Índice de resistencia demandada (I_{so})

También llamado índice de juicio estructural, la OPS (2004) lo define como el índice que determina el grado de sismicidad, localización y características del terreno sobre el cual se asienta la edificación con el que se compara el índice de resistencia sísmica para señalar si un edificio resultará seguro ante la presencia de un sismo.

h) Índice de resistencia sísmica (I_s)

Llamado también índice de vulnerabilidad sísmica la OPS (2004) afirma que determina la resistencia de la edificación condicionado por el índice sísmico

básico (Eo), índice de configuración estructural (Sd) y el índice de deterioro (T).

i) Índice sísmico básico de comportamiento estructural (Eo)

La OPS (2004) señala que el comportamiento estructural de un inmueble ante acciones de un movimiento telúrico está condicionado por los índices C y F (índice de resistencia y ductilidad respectivamente).

j) Intensidad sísmica

Según Kuroiwa (2002), la intensidad consiste en la estimación práctica de los movimientos de la corteza terrestre, a través de la percepción que tiene el hombre de los movimientos sísmicos en el ambiente en que habita.

k) Magnitud

Según Kuroiwa (2002), magnitud es la cuantificación indirecta de la totalidad de energía expulsada a causa de las ondas sísmicas durante un movimiento telúrico y puede evaluarse con las amplitudes de ondas que registran los sismógrafos.

l) Modelamiento estructural

Simulación de una estructura mediante un software avanzado con la ayuda de un ordenador.

m) Parámetros de sitio (S, Tp y TI)

Norma E-030 (2017) “Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las Tablas”

n) Riesgo sísmico

Kuroiwa (2002) indica que “el riesgo es el resultado de la exposición de la construcción hecha por el hombre, con el grado de vulnerabilidad que le es inherente, frente al peligro al que se verá sometida” (p. 5).

o) Vulnerabilidad sísmica

Según la OPS (2004), es el grado de destrucción que puede sufrir una estructura durante un movimiento telúrico y va depender de todos los parámetros de diseño del edificio, del proceso constructivo y la calidad de los materiales utilizados.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Diseño

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es una investigación **aplicada** porque se utilizará un método ya existente para la determinación de la Vulnerabilidad sísmica de una estructura.

Además, se prosiguió con un método de estudio ordenado, por lo que tiene un enfoque tecnológico **cuantitativo**, ya que es secuencial y cada etapa precede de la siguiente, sin posibilidad de evitar pasos, cuyo método es detallado.

A su vez también es una investigación **explicativa**, ya que el estudio en situ busca encontrar la relación entre la vulnerabilidad sísmica de la edificación y una propuesta de mejoramiento del refuerzo de la estructura, para así mejorar el desempeño de esta ante un eventual sismo.

3.1.2. Nivel de la investigación

La tesis presentada es **descriptiva**, debido a que detalla ordenadamente las características estructurales que poseen todos los módulos tomados como muestra, y a su vez porque permite examinar y procesar los datos obtenidos en campo de manera numérica.

3.1.3. Diseño de la investigación

El enfoque utilizado es **no experimental**, debido a que se realiza un análisis sin adulterar adrede las variables, sino que se analiza tal y como se encuentra la estructura de la edificación.

Además, también se trata de un tipo de investigación **Transversal**, debido a que los datos se recopilan en una única ocasión, tiempo y se trata de cuantificar en valores contables, medibles y porcentajes el cálculo de las variables.

3.2. Muestra

3.2.1. Caso de estudio

La institución educativa emblemática Elvira García y García está ubicada en el Asentamiento Humano San Antonio Sector Oeste en la av. Jorge Chavez N° 1004 (esquina con Calle San Carlos cuadra N° 01) – Chiclayo a dos cuadras de la comisaria Campodónico (ver figura 00), presenta una estructura constituida por 21 módulos entre ellos aulas, laboratorios, bibliotecas, talleres, etc. Todos los módulos a excepción de administración, vestuarios y casetas presentan 2 pisos.

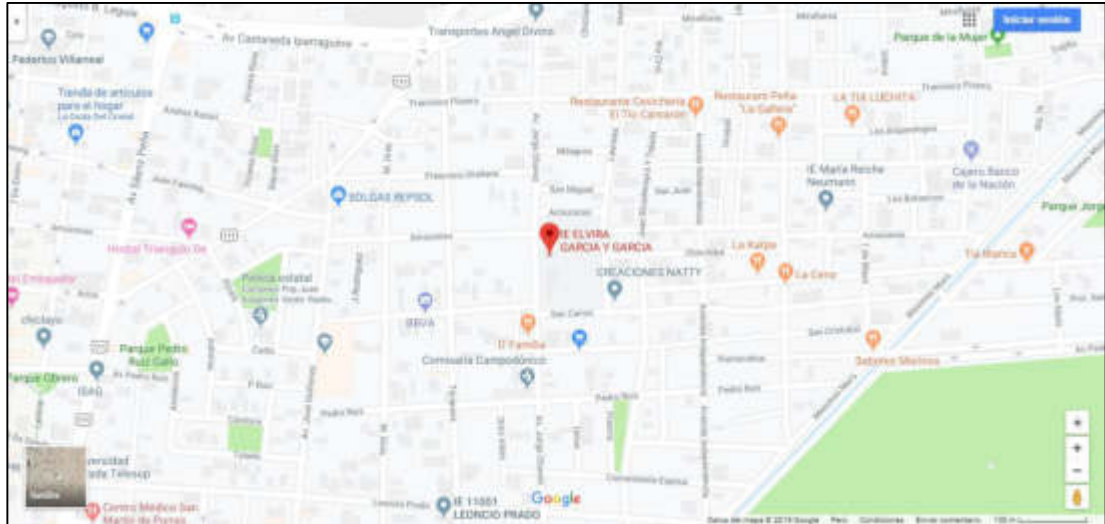


Ilustración 13. Street view de la ubicación I.E Elvira García y García

Fuente: Google maps.

La institución educativa posee no más de un año de antigüedad y presenta un área de 12, 212.49 m² y un perímetro de 452.44 ml. Está construido sobre un terreno deficiente ya que su capacidad portante es de 0.78 kg/cm² con un nivel de cimentación de 1.50 m, que está localizado en el territorio de mayor peligrosidad sísmica del Perú (Zona 4) y que a su vez pertenece al Cinturón Circumpacífico. Esto crea una gran necesidad de evaluar la vulnerabilidad de la estructura para así determinar su seguridad sísmica aplicando el método Hirosawa.



Ilustración 14. Ubicación de Lambayeque

Fuente: INDECI 2004.

Geográficamente, el área de estudio está ubicada la parte Este de la ciudad de Chiclayo a $6^{\circ}45'59.3''$ Latitud sur y a $79^{\circ}49'45.7''$ Longitud Oeste de Greenwich.

Los linderos y medidas perimétricas del proyecto son los siguientes:

- **Norte:** Colinda con la Calle Amazonas en Línea Recta de un Tramo, Vértice V-01 al V-02 con una Longitud de 86.57 ml.

- **Sur:** Colinda con el Jiron los Laureles en Línea Recta de un Tramo, Vértice V-02 al V-03 con una Longitud de 136.31 ml.
- **Este:** Colinda con la Calle San Carlos en Línea Recta de un Tramo, Vértice V-03 al V-04 con una Longitud de 91.55 ml.
- **Oeste:** Colinda con la Avenida Jorge Chavez en Línea Recta de un Tramo, Vértice V-04 al V-01 con una Longitud de 138.01 ml.

3.2.2. Acceso al área de estudio

La institución educativa Elvira García y García no presenta dificultades de acceso y es viable avanzando por la avenida Jorge Chavez – lado Este del Distrito de Chiclayo cerca a la comisaria Campodónico; también cuenta con todo tipo de unidades de transporte público y privado.

3.2.3. Condiciones climáticas

El clima del área del proyecto es propio de las zonas costeras del norte del Perú, variando entre caluroso y templado, su media de temperatura en los meses de octubre a mayo fluctúa de los 29°C a los 31°C, y en el período julio – septiembre se encuentra alrededor de los 16°C. La media anual de la precipitación pluvial fluctúa entre los valores de 0.5 mm. hasta 24 mm. y la media de humedad relativa se encuentra entre 67 – 86%.

3.2.4. Descripción de la Institución educativa Elvira García y García

La Institución Educativa Elvira García y García, una escuela de tipo emblemático de mujeres ubicado en la ciudad de Chiclayo, cuenta con zonas definidas como:

- **Zona de Ingreso principal:** aquí están ubicadas la caseta de control, plataforma de acceso principal, los ingresos principales peatonales, vehicular, estacionamiento.
- **Zona administrativa:** que está conformada por las oficinas secretaría y recibo, sub-dirección, dirección, archivo, sala de normas educativas, sala de profesores, depósito de material educativo, oficina de educación física y baños de profesores.
- **Zona académica:** en las que se incluyen las aulas, SUM, laboratorio, innovación pedagógica, CRED, talleres, servicios higiénicos de alumnos de la Institución educativa.
- **Servicios complementarios:** entre los que están los ambientes cafetín, cocina, tópicos, servicios higiénicos y vestuarios.
- **Patio de formación:** plataforma de concreto de formación incluye asta, (patio techado estrado, zonas pavimentadas accesos, atrios.
- **Zona recreativa:** losas deportivas, servicios higiénicos y vestuarios, zona de bio-huerto.
- **Servicios generales:** en donde se encuentran los ambientes de maestranza y limpieza, archivo, caseta de fuerza.



Ilustración 15. Áreas de distribución de la I.E. Elvira García y García

Fuente: Expediente Técnico I.E. Elvira García y García

La infraestructura de la Institución Educativa Elvira García y García está conformada por 21 módulos, que a continuación se describen:

Tabla 11. Distribución arquitectónica según pisos

Nº	Módulo	Nº de Pisos
01	Administración	1
02	Escalera 01	2
03	SS.HH 01	2
04	Sum 02	2
05	Sum 01	2
06	Escalera 02	2
07	Laboratorio	2
08	Innovación 01	2
09	Innovación 02	2
10	Escalera 03	2
11	Cred	2
12	Aula 4,5,6	2

13	Escalera 04	2
14	Aula 1,2,3	2
15	Cafetín, cocina, tópico	1
16	Vestuarios 01	1
17	SS.HH 02	2
18	Vestuarios 02	1
19	Caseta de Fuerza	1
20	Caseta de Vigilancia	1
21	Caseta de Gas	1

Fuente: I.E. Elvira García García

a) Características generales

Tiene una estructura compuesta de losa aligerada, viguetas y vigas de concreto armado. Muros de albañilería confinada en una dirección y aporticado en el otro, tal y como se detalla en la tabla 11:

Tabla 12. Diseño Estructural en el sentido X y en el sentido Y

Nº	MODULO	Sentido X	Sentido Y
01	Aulas 1,2,3	Aporticado	Albañilería Confinada
02	Aulas 4,5,6	Aporticado	Albañilería Confinada
03	Administración	Aporticado	Albañilería Confinada
04	Sum	Aporticado	Albañilería Confinada
05	Laboratorio	Aporticado	Albañilería Confinada
06	Innovación	Aporticado	Albañilería Confinada
07	Cred	Aporticado	Albañilería Confinada
08	Cafetin, cocina y tópico	Aporticado	Albañilería Confinada
09	Ss.hh. 1	Aporticado	Aporticado
10	Ss.hh. 2	Aporticado	Albañilería Confinada
11	Escaleras	Aporticado	Aporticado
12	Maestranza	Aporticado	Aporticado
13	Caseta de control	Aporticado	Aporticado
14	Caseta de gas	Aporticado	Aporticado
15	Casa de fuerza	Aporticado	Aporticado

Fuente: I.E. Elvira García y García

En cuanto a su estructura y generalizando, la Institución Educativa Elvira García y García cuenta en cada módulo con vigas peraltadas, losa aligerada de 0.20 m de altura y tiene en las esquinas columnas en L, columnas en T en los ejes principales y rectangulares en los demás ejes. Además, para confinar los muros de albañilería presenta y columnatas y viguetas de confinamiento.

De acuerdo, a las especificaciones técnicas presentadas en el expediente de la I.E. se encontró que la resistencia a la compresión del concreto utilizada en los elementos sismorresistente de cada piso (columnas, vigas y losa aligerada) es $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, y según dichas especificaciones presenta un suelo tipo 3.

En general, tiene acabados en los muros de pintura látex, o simplemente imprimante en lugares como depósitos y semisótanos. A su vez, el cielo raso presenta pintura látex, pintura óleo mate o sólo imprimante en lugares poco transitados. Los zócalos de zonas de alto tránsito son de porcelanato, mientras que los zócalos de los servicios higiénicos son de piso cerámico antideslizante, mientras que los pasadizos tienen acabado semipulido. Las puertas y ventanas son de carpintería de madera con vidrio templado, según las especificaciones técnicas.

b) Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) para la cimentación

En el estudio de mecánica de suelos presentado en el expediente de la Institución Educativa Elvira García y García, habiendo realizado inspecciones en campo (in situ) y mediante calicatas llamadas “a cielo abierto” se realizaron pruebas de laboratorio estándar y particulares con el fin de determinar los más importantes parámetros físicos y mecánicos del terreno, sus características de resistencia, deformación, agresividad química de los elementos y trabajos en gabinete en los que se basan los

perfiles estratigráficos, tipo de cimentación y profundidad, asentamiento, capacidad portante admisible y sugerencias generales para el cimiento.

b.1) Ensayo de corte directo

Este ensayo se realizó de acuerdo a las especificaciones ASTM – D3080-72, con cargas verticales que producen esfuerzos de 0.50, 1.00 y 1.50 Kg/cm², para tal fin se utilizaron las muestras inalteradas extraídas de las (02) calicatas ensayadas de acuerdo a la extensión del terreno asignado; referido al nivel del TERRENO NATURAL (Corte Saturado).

b.2) Parámetros de resistencia y físicos del suelo en análisis

Tabla 13. Características del suelo en estudio

CALICATA	C1M1	C1M2	C2M1	C2M2	C2M3
PROF. (m)	0.20- 1.50	1.50- 3.00	0.30- 1.30	1.30- 2.80	2.80- 3.00
LL (%)	43.94	44.98	45.87	44.45	N°P°
LP (%)	22.17	22.03	21.54	25.82	N°P°
IP (%)	21.17	22.95	24.23	18.63	N°P°
γ	---	1.524	---	1.504	---
% Wn	10.20	24.37	11.16	22.20%	12.81
% Wsat	---	31.06	---	32.2%	---
φ	---	12.2°	---	12.0°	---
C	---	0.35	---	0.35	---
CLASIF.SUCS	CL	CL	CL	CL	CP

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García.

Donde:

LL = Límite Líquido

LP	=	Límite plástico
IP	=	Índice plástico
%W	=	Contenido de humedad
γ	=	Densidad del suelo seco, Ton/m ³
ϕ	=	Ángulo de fricción interna del suelo
C	=	Cohesión del suelo, Ton/m ²

b.3) Capacidad Portante

Se analizaron para las (02) calicatas ensayadas que se detallan a continuación, la tabulación hallada con los coeficientes modificados de Terzagui para capacidad de carga.

Tabla 14. Capacidad admisible del terreno en kg/cm²

CALICATA	PROFUNDIDAD DF. (m)	ANCHO	CIMENTACION	CIMENTACION
		CIMENTACION	CONTINUA	AISLADA
		B (m)		
C – 1	1.50	2.00	0.79	0.96
C – 2	1.50	2.00	0.78	0.95

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García.

b.4) Parámetros del suelo bajo la cimentación

Según los parámetros de la con la Norma Técnica de Edificación E-030 2017 Diseño sismorresistente y el influjo del terreno en los cimientos, el suelo tiene las características siguientes:

Tabla 15. Resumen de parámetros del suelo

FACTOR	VALOR	OBSERVACIONES
Factor de Zona (Z)	0.40	ZONA 3
Factor de Uso (U)	1.00	CAT. EDIF. A
Factor de Suelo (S)	1.50	SUELO S3
Período de Vibración del Suelo (Tp)	0.90	NORMA E-030

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García.

3.3. Instrumentos

Se optó por una investigación de tipo descriptiva, ya que recopila, describe y analiza ordenadamente las características estructurales de cada módulo analizado. Se utilizaron tablas basadas en el método Hirosawa.

3.3.1. Materiales y equipos utilizados

a) Levantamiento estructural

Para la verificación de las medidas entre el plano del expediente y reales, se utilizó equipos de medición como winchas de 8m, reglas para medición de fisuras, cámaras fotográficas, EPP (equipos de protección personal), cuaderno de apuntes y formatos Hirosawa.

b) Análisis dinámico modal espectral

Se realizó un modelo computacional, haciendo un análisis de los periodos fundamental de la estructura, cortantes basales, parámetros de irregularidades y distorsiones de entrepiso propuestos en la Norma E-0.30-2017, para esto se empleó ordenadores con software Etabs 2016 v16.2.1 instalados.

3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos

Entre los instrumentos y técnicas de recopilación de datos utilizados en este trabajo de investigación tenemos:

a) Material bibliográfico

Fue la principal técnica de recolección de datos, debido a que se compilaron libros, repositorios académicos, artículos de investigación, blogs de internet, etc.

b) Entrevistas

Se realizaron entrevistas al personal docente perteneciente al centro educativo, con el propósito de obtener información variada sobre las edificaciones existentes.

c) Observación

Se analizaron las características estructurales, la actual condición de cada edificación, verificando detalles como: grietas, rajaduras etc., esto permitió efectuar una evaluación de la situación de las edificaciones.

d) Documentación

Comprenden documentos tales como permisos de acceso, credenciales, expediente técnico, cuaderno de obra, ensayos, protocolos.

e) Fichas censales

Se elaboró un formato de fichas para obtener información sobre las características físicas de la edificación a analizar.

f) Norma E.030 2018 Diseño Sismorresistente

Para el modelamiento de los módulos, se empleó la norma E-030 2017 Diseño sismorresistente, lo que permitió considerar los factores sísmicos como: factor de uso, factor de zona, categoría de la edificación, coeficiente de amplificación sísmica y demás.

g) Modelamiento en software

Se realizó el modelamiento sísmico de los módulos de la I.E. Elvira García García, con el propósito de verificar resultados en comparación con el método Hirosawa.

3.4. Procedimiento

3.4.1. Procesamiento de la Información

El análisis y procesamiento de la información del proyecto se desarrolló teniendo en cuenta los planos del expediente técnico de la I.E. Elvira García y García. Con estos datos se prosiguió a calcular los metrados de cargas por piso teniendo en cuenta las características y dimensiones de los elementos estructurales.

3.4.2. Procedimiento de la investigación

Para el cálculo del índice de resistencia sísmica (I_s), se tuvieron que calcular los siguientes tres índices, el índice de sísmico básico del comportamiento estructural (E_o), el índice de configuración estructural (S_d) y el índice de deterioro de la edificación (T); y para hallar el índice de resistencia demandada (I_{s0}), se determinaron los parámetros de zona (Z), uso e importancia de cada módulo (U), factor de amplificación sísmica (C), coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R), el tipo de suelo (S) y condiciones topográficas (G).

El índice de sísmico básico del comportamiento estructural (E_o) se calculó mediante parámetros y fórmulas basadas en el método Hirosawa y Norma E-0.30 2017, por lo que se tuvo en cuenta el peso por piso de cada módulo, el índice de resistencia

proporcionada por las columnas (C_c) en cada dirección de análisis (eje X y eje Y), el coeficiente de factor de reducción (R).

Para obtener el índice de configuración estructural (S_d) se tomó en cuenta en cada módulo las características de regularidad en planta, relación largo-ancho, estrangulaciones de la planta, espesor de las juntas de dilatación, dimensiones y ubicación de patios interiores, existencia de subterráneo, uniformidad de la altura de los pisos, excentricidad de rigidez en planta, irregularidades de la distribución de las masas y de la rigidez de entrepiso de los pisos en altura. A cada característica se le asignará un valor según el nivel de influencia de cada una.

Para calcular el índice de deterioro de la edificación (T) se consideraron las tablas dadas por el método Hirosawa, deformaciones e inclinaciones en los elementos, daños ligeros, fisuras en elementos estructurales, almacenamiento de sustancias químicas y antigüedad de la institución educativa. Para analizar estos parámetros fue necesario la visita a las instalaciones del colegio.

Adicional a estos análisis empíricos se realizó un modelamiento computacional en el software Etabs 2016 v16.2.1, teniendo en cuenta los parámetros propuestos por la Norma E-0.30 2017, y obteniendo un cálculo de vulnerabilidad sísmica cuantitativa.

3.4.3. Aspectos éticos

Para la correcta realización del proyecto de investigación, se solicitó a las autoridades de la institución educativa los permisos correspondientes como el ingreso a las instalaciones del colegio.

Para esta investigación se siguió los lineamientos de las Normas APA en la obtención de fuentes de información, como repositorios académicos similares a nuestra tesis.

3.4.4. Plan de trabajo

La metodología propuesta, se necesitará el uso combinado de herramientas tecnológicas como: software (Etabs 2016 v.2.1), hojas de cálculo (Excell); el uso de metodologías empleadas en el análisis de vulnerabilidad sísmica para el procesamiento de la información acoplada y fuentes bibliográficas adecuadas para la realización del presente trabajo de investigación.

3.5. Formulación de hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa, permitirá determinar la seguridad sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, la cual resulta segura.

3.5.2. Hipótesis específicas

- El análisis de la **configuración estructural** aplicando el método Hirosawa permitirá calcular el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos es 1.
- El análisis del **comportamiento básico estructural** empleando el método de Hirosawa calculará el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos fluctúa entre los valores 0.5 al 1.0.

- El análisis del **deterioro de la estructura** utilizando el método Hirosawa permitirá calcular el **índice de resistencia sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos es 1.
- El análisis de **las condiciones del terreno** usando el método de Hirosawa calculará el **índice de demanda sísmica** de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor es 1.0.

3.6. Variables

3.6.1. Variable independiente

En esta investigación, la variable dependiente es la vulnerabilidad sísmica, aplicando el método de Hirosawa, debido a que no sufre ninguna modificación y se evaluarán sus parámetros.

3.6.2. Variable dependiente

Por otro lado, la variable dependiente será la seguridad estructural de la Institución Educativa Elvira García y García, ya que se mide la consecuencia que tiene sobre ella la variable independiente.

3.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 16. Operacionalización de variables

HIPÓTESIS	VARIABLES	ÍNDICES	DIMENSIÓN
General:			
La evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa, permitirá determinar la seguridad sísmica en la Institución Educativa Elvira García y García, la cual resulta segura.	V. Independiente (x): Vulnerabilidad sísmica	E_o = índice sísmico básico de comportamiento estructural.	Adimensional
		S_d = índice de configuración estructural.	Adimensional
		T = índice de deterioro de la edificación.	Adimensional
Secundaria 1:			
El análisis de la configuración estructural aplicando el método Hirosawa permitirá calcular el índice de resistencia sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos es 1.	V. Independiente (x): Configuración estructural	G_i = Factor de grado	Adimensional
		V. Dependiente (y): Índice de resistencia sísmica	R_i = Factor de reajuste Adimensional
Secundaria 2:			
El análisis del comportamiento básico estructural aplicando el método de Hirosawa permitirá calcular el índice de resistencia sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos fluctúa entre los valores 0.5 al 1.0.	V. Independiente (x): Comportamiento básico estructural	C_c = Índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de hormigón armado.	Adimensional
		F'_c = Resistencia de ensayo de compresión	Kg/cm ²
		F = Factor de ductilidad	Adimensional
		α = Valor de coeficiente de reducción de resistencia	Adimensional
Secundaria 3:			
El análisis del deterioro de la estructura aplicando el método Hirosawa permitirá calcular el índice de resistencia sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor en todos los módulos es 1.	V. Independiente (x): Deterioro de la edificación	T1 = Deformación permanente	Adimensional
		T2 = Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo	Adimensional
		T3 = Incendios	Adimensional
		T4 = Uso del cuerpo o bloque.	Adimensional
		T5 = Tipo de daño estructural.	Adimensional
Secundaria 4:			
El análisis de las condiciones del terreno aplicando el método de Hirosawa permitirá calcular el índice de demanda sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, cuyo valor es 1.0.	V. Independiente (x): Condiciones del terreno	E_{so} = Resistencia sísmica básica requerida.	Adimensional
		Z = Factor de zona sísmica.	Adimensional
		V. Dependiente (y): Índice de demanda sísmica	G = Factor de influencia de las condiciones topográficas. U = Factor de importancia del edificio por su uso Adimensional

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y APLICACIÓN

4.1. Descripción del módulo aulas 1,2,3

El módulo aulas 1,2,3, es una de las 18 muestras analizadas en nuestra investigación, ubicada dentro de las instalaciones de la institución educativa Elvira García y García – Chiclayo. Esta edificación presenta 2 niveles de piso, presentando en el segundo nivel un volado de más de 2 m., que sirve como pasadizo. La edificación está destinada a uso de aulas pedagógicas, la estructura tiene una antigüedad de no mayor de un año.

Presenta un sistema estructural de pórticos de concreto armado, únicamente en la dirección X-X, y muros de albañilería confinada en la dirección Y-Y. Si hablamos de los materiales y sus características, la estructura de albañilería cuenta con ladrillos tipo King Kong industrial y los elementos que confinan los muros portantes (vigas y columnas) con concreto armado, las losas son de tipo aligeradas con las viguetas orientadas en una sola dirección (X-X). la edificación se encuentra en un buen estado de conservación, pero presentando fisuras leves en las vigas del segundo nivel.

Para la comprobación de la calidad y resistencia del concreto se tuvieron en cuenta documentos como cuaderno de obra que se adjuntan en anexo 06, verificándose así una resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ en los elementos estructurales, y para la obtención de las características de la albañilería se tuvo en cuenta las especificaciones de la Norma Técnica E.070.

4.2. Estructuración del sistema en cada dirección

La estructura del módulo presenta en la dirección Y-Y un sistema estructural mixto de pórticos y albañilería (muros portantes de albañilería confinado en sus cuatro lados), este último siendo el sistema que predomina, y en la dirección X-X un sistema único de pórticos de concreto armado, columnas con secciones rectangulares, T, y en L, vigas chatas, peraltadas y de secciones variables. La altura de cada nivel es de 3.85 m. y 3.30 m. para el primer y segundo piso, respectivamente.

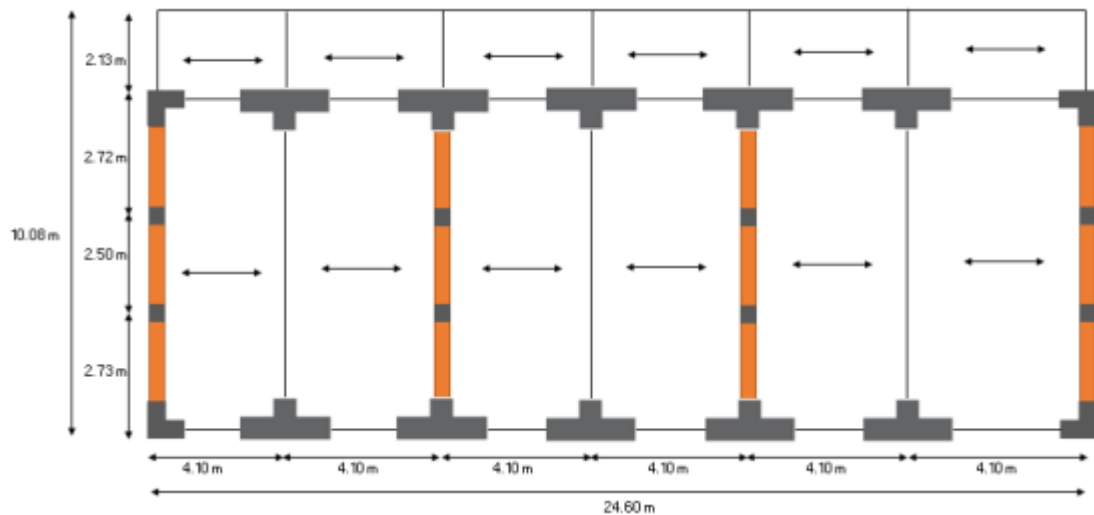


Ilustración 16. Vista en planta de Módulo Aulas 1,2,3

Elaboración: Los autores

4.3. Especificaciones de materiales usados en el sistema estructural

4.3.1. Características del concreto

De acuerdo a lo especificado en el cuaderno de obra (ver anexo 06) de la construcción de la institución de educativa Elvira García y García se tiene que:

- Resistencia a la compresión (f'_c): 210 kg/cm²
- Módulo de Elasticidad (E): 2173706.51 kg/cm² para un $f'_c=210$ kg/cm²
- Módulo de Poisson (μ): 0.20
- Peso específico (γ_C): 2400 kg/m³ para concreto armado

4.3.2. Características de la albañilería

Para las características de los elementos de albañilería como ladrillo King Kong Industrial, se basó en las especificaciones que da la Norma Técnica E.070.

- Resistencia del ladrillo (f'_m): 65 kg/cm²
- Módulo de Elasticidad (E): 32500 kg/cm² para $E=500*f'_m$
- Módulo de Poisson (μ): 0.25
- Peso Especifico (γ_A): 1800 kg/m³ para albañilería

4.3.3. Recubrimientos mínimos

Las normas de construcción señalan los recubrimientos mínimos del acero de refuerzo que debe tener cada elemento de estructural.

- Columnas y vigas de confinamiento: 2.50 cm
- Columnas y vigas peraltadas: 4.00 cm
- Losas aligeradas y vigas chatas: 2.0 cm

4.4. Cargas verticales

Para definir el peso por gravedad como cargas muertas y vivas, se recurrió a la Norma Técnica E.020. Los pesos propios de los elementos estructurales como columnas, vigas, losas aligeradas, muros portantes, entre otros, se determinaron a partir de sus características y sus pesos específicos. A su vez se incluyeron pesos de acabados, sobrecargas según el tipo de uso de la edificación, pasadizos y cargas de techo en azotea. En la tabla 17 se indican los valores de las cargas aplicadas al módulo aulas.

Tabla 17. Cargas del módulo Aulas 1,2,3

Carga Muerta (PP+CM):	2° Piso	1° Piso
Peso de losa aligerado	300 Kg/m ²	300 Kg/m ²
Peso de acabados	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²
Peso de tabiquería	0 Kg/m ²	300 Kg/m ²
<hr/>		
Carga Viva (CV+CVULT):	2° Piso	1° Piso
Peso de ADM	100 Kg/m ²	300 Kg/m ²
Peso de pasadizo	100 Kg/m ²	400 Kg/m ²

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

4.5. Análisis de vulnerabilidad sísmica en la dirección x-x (método hirosawa)

El módulo Aulas 1,2,3, se evaluó con el primer nivel de análisis del método Hirosawa con el objetivo de analizar y determinar el grado de vulnerabilidad que tiene dicha edificación. Para lo que, se tuvo que calcular el índice de vulnerabilidad estructural (I_s) y índice de juicio estructural (I_{so}) en la dirección de análisis X-X, y comparándolos entre sí.

4.6.1. Datos generales de Módulo Aulas 1,2,3

a) Dimensiones del módulo

A continuación, se describen los datos generales del módulo analizado:

Tabla 18. Datos Generales del módulo Aulas 1,2,3 X-X

Número de pisos	np	2
Altura de entrepiso 1er piso (he1):	he1	3.85 m
Altura de entrepiso 1do piso (he2):	he2	3.30 m
Altura de la edificación (ht):	ht	7.15 m
Área de losa 1er piso (Alosa1):	Alosa1	247.97 m
Área de losa 2do piso (Alosa2):	Alosa2	297.47 m
Espesor de losa 1er piso (elosa1):	elosa1	0.20 m
Espesor de losa 2do piso (elosa2):	elosa2	0.20 m
Resistencia a la compresión f'c (Kg/cm2)	f'c	210 kg/cm2

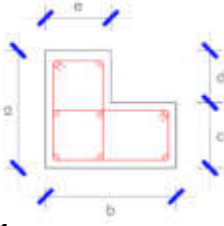
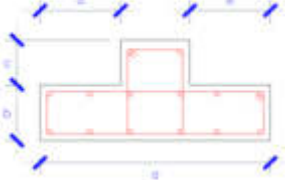
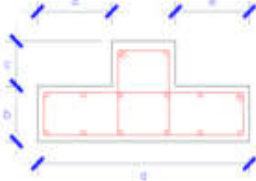
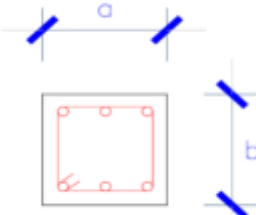
Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

Elaboración: Los autores

b) Dimensiones de columnas

En la tabla siguiente, se indican las dimensiones de las columnas que el módulo presenta.

Tabla 19. Dimensiones de las columnas del módulo Aulas 1,2,3

Sección	Nº Col.	a(cm)	b(cm)	c(cm)	d(cm)	e(cm)	Area (cm ²)
 <p>C1</p>	4	45	50	25	20	25	7000
 <p>C2</p>	6	100	25	20	37.5	37.5	18000
 <p>C3</p>	6	100	25	20	35	35	18600
 <p>C4</p>	4	25	25				2500

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

4.6.2. Parámetros sísmicos (Dirección X-X)

La Norma E.030 2018, nos especifica los parámetros a tener en cuenta como factor de zona (Z), suelo (S), uso de la edificación (U), periodo de vibración del suelo(Tp), factor de amplificación sísmica (c), entre otros.

Tabla 20. Parámetros sísmicos del módulo Aulas 1,2,3

Factor de Zona: Zona 4	Z	0.45
Factor de Uso: Edificio Escencial	U	1.5
Factor de Suelo: Suelo Flexible	S	1.1
Periodo Tp	Tp	1
Periodo TL	TL	1.6
Factor de Reducción: Sistema Aporticado	R	8
Factor de amplificación sísmica	C	2.5

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

Elaboración: Los autores

4.6.3. Cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica (Is), en la dirección de análisis X-X

Para esta tesis se determinó un índice de vulnerabilidad estructural para cada dirección, que depende de sub índices como comportamiento estructural, configuración estructural y deterioro de la edificación, todo esto se analizó con la ayuda de hojas de cálculo basadas en el primer nivel de evaluación del método de Hirosawa. Este método nos proporciona una formula general para determinar dicho Índice.

$$I_s = E_o * SD * T$$

Donde:

Eo: Índice sísmico básico de comportamiento estructural

SD: Índice sísmico básico de configuración estructural

T: Deterioro de la edificación

a) Cálculo del sub Índice sísmico básico de comportamiento estructural (Eo)

En la dirección de análisis (X-X), el sistema estructural es únicamente en base a pórticos, el cálculo de este sub índice, teniendo en cuenta la resistencia y ductilidad proporcionada por las columnas no cortas (C_c y F , respectivamente) y el número de pisos existentes (n_p). La ecuación que describe a este sub índice se presenta a continuación:

Cálculo de E_o :

$$E_o = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_1 * (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 * C_w + \alpha_3 * C_c\} * F$$

- Cálculo de los coeficientes alfa (α)

Para determinar los valores de los α y del sistema estructural predominante en la dirección analizada, se toma en cuenta las siguientes tablas proporcionadas por el método Hirosawa.

Tabla 21. Determinación del coeficiente α del módulo Aulas 1,2,3

TIPO	α_1	α_2	α_3	MODO DE FALLA
A	1.0	0.7	0.5	Columnas cortas y paredes portantes controlan la falla.
B	0.0	1.0	0.7	Muros de concreto reforzado controlan la falla.
C	0.0	0.0	1.0	Columnas de concreto reforzado controlan la falla.

Fuente: Método de Hirosawa

Tabla 22. Índice de resistencia proporcionada por columnas del módulo Aulas1,2,3

Cmar: Índice de resistencia proporcionada por los muros de relleno de albañilera.	0
Csc: Índice de resistencia proporcionada por las columnas cortas de concreto armado.	0
Ca: Índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería no reforzad o parcialmente confinada.	0
Cw: Índice de resistencia proporcionada por los muros de concreto armado.	0
Cc: Índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de concreto armado.	Calcular

Fuente: Método de Hirosawa

De la tabla 19 se toman los valores de alfa (α) tipo C, ya que los elementos que controlan la falla son las columnas, y la tabla 20 se colocan valores de cero a todos los índices de resistencia que no sean proporcionados por columnas no cortas, quedando mi ecuación de comportamiento estructural (E_0) reducida a:

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_3 * C_c\} * F$$

- **Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas no cortas (Cc)**

Para determinar este índice se debe tener en cuenta la siguiente ecuación que depende del peso de cada piso de la edificación (W_j), resistencia a la compresión de las columnas (f'_c) y área de columnas según su rigidez (Ac_1 y Ac_2).

$$C_c = \frac{f'c}{200} * \frac{10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j}$$

Para el cálculo del peso de edificio por piso, se usó los resultados obtenidos del Programa Etabas 2016 v.16.2.1:

Tabla 23. Peso por piso de la edificación

Piso	Masa	Peso (Wj)
2	19.86	194.77
1	35.71	544.95

Fuente: Etabas 2016

Elaboración: Los autores

- **Cálculo de los factores Ac1 y Ac2:**

1. Ac1: Sumatoria de secciones de columnas, donde la relación h (altura libre) y D (ancho) es menor que 6.
2. Ac2: Sumatoria de secciones de columnas, donde la relación h (altura libre) y D (ancho) es mayor que 6.

Tabla 24. Factores Ac1 y Ac2 del módulo Aulas 1,2,3

Piso	Ac1	Ac2
2º Piso	36600.00 cm2	9500.00 cm2
1º Piso	36600.00 cm2	9500.00 cm2

Elaboración: Los autores

En la siguiente tabla 25 se muestran los valores de resistencia a la compresión de concreto verificados en el cuaderno de obra (ver anexo 06), sumatorias de áreas de columnas, peso por piso de la edificación y la resistencia proporcionada por las columnas de concreto armado calculado con la ecuación anterior.

Tabla 25. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas (Cc)

NIVEL DE EVALUACIÓN	f _c (Kg/cm ²)	Ac1 (cm ²)	Ac2 (cm ²)	Wj (kg)	Cc
2º Piso	210	36600	9500	254006.8	1.79
1º Piso	210	36600	9500	650783.8	0.70

Elaboración: Los autores

- Cálculo del índice de ductilidad (F)

El método Hirosawa proporciona la siguiente tabla para determinar el índice de ductilidad. Para la dirección analizada se tomó el valor de F como 1.0.

Tabla 26. Índice de ductilidad (F)

F=	1	Si C_{mar}, C_a y C_{sc} son iguales a cero
F=	0.8	Si c_{mar}, C_a y C_{sc} son diferentes a cero

Fuente: Método Hirosawa

Para finalmente, calcular el índice E₀, se reemplazan los valores obtenidos de alfa (α₃), resistencia proporcionada por las columnas (Cc) y el valor de ductilidad (F) en la ecuación anterior.

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_3 * C_c\} * F$$

Tabla 27. Cálculo del E₀ del módulo Aulas 1,2,3

Nº de Piso (np)	Modo de falla (α ₃)	Índice de resistencia de columnas (Cc)	Índice de ductilidad (F)	Índice de comportamiento estructural (E ₀)
2	1.0	1.79	1.0	1.34
1	1.0	0.70	1.0	0.70

Elaboración: Los autores

b) Cálculo del sub Índice sísmico básico de configuración estructural (SD)

Para determinar el segundo índice, configuración estructural, se tomaron en cuenta la tabla 28 proporcionada por el método Hirosawa, donde se analizan los parámetros de regularidad de la edificación, relación entre el largo y ancho de la vista en planta de la estructura, contracciones en la losa aligerada, existencia y excentricidad de patios interiores, presencia de subterráneos, adecuada junta de dilatación y la correcta o no uniformidad entre los pisos existentes. La Tabla 28 ayuda a calcular el valor de SD fácilmente.

Tabla 28. Subíndice sísmico básico de configuración estructural (SD)

ITEMS (qi)	Gi			Ri
	1.0	0.9	0.8	
Regularidad: ai	Regular (a1)	Mediano (a2)	Irregular (a3)	1
Relación largo – ancho: B=n/m	B <5	5 < B <8	B >8	0.5
Contracción de planta c=d1/do	0,8 < c	0,5 < C < 0,8	C < 0,5	0.5
Atrio o patio interior	Rap=0,1	0,1 < Rap < 0,3	0,3 < Rap	0.5
Excentricidad de atrio o patio interior	f1=0,4	f1 > 0,4	0,4 < f1	0.25
	f2=0,1	0,1 < f2 < 0,3	0,3 < f2	
Subterráneo	1,0 < Ras	0,5 < Ras < 1,0	Ras < 0,5	1
Junta de dilatación	0,01 < s	0,005 < s < 0.01	s < 0.005	0.5
Uniformidad de altura de piso	0,8 < Rh	0,7 < Rh < 0,8	Rh < 0,7	0.5

Fuente: Método Hirosawa

Cálculo de Índice SD:

$$S_D = \prod_{i=1}^{1=8} q_i$$

Donde:

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 7 \text{ y } 8$$

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 6$$

- **Regularidad (ai):**

Para el cálculo de este ítem, el método Hirosawa proporciona tres condiciones para evaluar, en el caso de estudio será la condición a1, porque cumple con lo siguiente:

a1: Si La relación entre dimensiones largo – ancho de saliente (L/b), es mayor que 0.5, entonces se debe verificar que el área saliente será menor que el 10% del área total en planta.

Tabla 29. Datos dimensionales módulo Aulas 1,2,3

N° de Piso	Largo (L)	Ancho (b)	Área saliente (Ao)	Área total (At)	L/b	Ao/At
2	2.13	24.6	52.40	247.97	0.087	21.13%
1	2.13	24.6	52.40	247.97	0.087	21.13%

Elaboración: Los autores

- **Relación Largo – Ancho (B)**

Para el cálculo de este ítem, el método Hirosawa proporciona la siguiente relación $B=n/m$ para evaluar, en el caso de estudio cumple con lo siguiente:

Relación $n/m = B < 5$

Tabla 30. Relación largo – ancho (B) en módulo Aulas 1,2,3

N° de Piso	Largo (n)	Ancho (m)	B=n/m
2	24.6	10.08	2.440
1	24.6	10.08	2.440

Elaboración: Los autores

- **Contracción en planta, Atrio interior, excentricidad de patio y subterráneo**

Para el caso estudiado no existe estos ítems por lo tanto se obviaron.

- **Junta de dilatación (S)**

El módulo Aulas 1,2,3, presenta una junta de dilatación de aproximadamente 1" (2.5 cm), porque lo que se tomó la condición $0.01 < S$.

- **Uniformidad de altura de cada Piso (Rh)**

Se determinará mediante una relación entre el piso inmediatamente superior al que se analiza y la altura de este. Para el caso de que el piso analizado no presente un piso superior se reemplazará por el piso inferior a este.

En el caso estudiado cumple con la siguiente condición $0.8 < Rh$.

Tabla 31. Uniformidad de altura de cada piso (Rh) del módulo Aulas 1,2,3

N° de Piso	he	Rh
2	3.30 m	0.86
1	3.85 m	1.17

Elaboración: Los autores

Para determinar finalmente el sub Índice de configuración estructural (SD), se reemplazaron en la ecuación A todos los valores calculados anteriormente.

Tabla 32. Cálculo del subíndice de Configuración Estructural (SD) del módulo Aulas 1,2,3

ITEMS	Gi			Ri	SD
(qi)	1.0	0.9	0.8		
Regularidad: ai	Regular (a1)	Mediano (a2)	Irregular (a3)	1	1.0
Relación largo – ancho: B=n/m	B <5	5 < B <8	B >8	0.5	1.00
Contracción de planta c=d1/do	0,8 < c	0,5 < C < 0,8	C < 0,5	0.5	
Atrio o patio interior	Rap=0,1	0,1 < Rap < 0,3	0,3 < Rap	0.5	
Excentricidad de atrio o patio interior	f1=0,4	f1 > 0,4	0,4 < f1	0.25	
	f2=0,1	0,1 < f2 < 0,3	0,3 < f2		
Subterráneo	1,0 < Ras	0,5 < Ras < 1,0	Ras < 0,5	1	
Junta de dilatación	0,01 < s	0,005 < s < 0.01	s < 0.005	0.5	1.00
Uniformidad de altura de piso	0,8 < Rh	0,7 < Rh < 0,8	Rh < 0,7	0.5	1.00
SD					1.00

Elaboración: Los autores

c) Cálculo del sub Índice de deterioro de la edificación (T)

Para determinar este sub índice, se hicieron visitas dentro de las instalaciones de la institución educativa Elvira García y García, para

verificar las condiciones en las que encontraba las estructuras de cada módulo estudiado.

El método Hirosawa nos proporciona cinco condiciones de deterioro que se analizan en siguientes tablas:

- **Deformación permanente (T1):** de acuerdo con las visitas realizadas, llegamos a la conclusión que el módulo analizado no presenta signos de deformaciones en su estructura.

Tabla 33. Deformación permanente (T1)

Característica	T1
El edificio presenta inclinación debido a asentamiento diferencial.	0.7
El edificio está construido sobre relleno artificial.	0.9
El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente	0.9
Tiene visible deformación de vigas o columnas.	0.9
No presenta signos de deformación.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo (T2):** la estructura analizada solo presenta fisuras por efectos de temperatura en vigas del segundo piso, que no son de consideración.

Tabla 34. Grietas en muros o columnas (T2)

Característica	T2
Presenta filtraciones con corrosión visible de armaduras.	0.8
Presenta grietas inclinadas visibles en columnas.	0.9
Presenta grietas visibles en muros.	0.9
Presenta filtraciones, pero sin corrosión de armaduras.	0.9
Nada de lo anterior.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Incendios (T3):** la institución educativa no ha experimentado ningún tipo de accidentes como lo son los incendios.

Tabla 35. Incendios (T3)

Característica	T3
Ha experimentado incendio, pero no fue reparado.	0.7
Ha experimentado incendio y fue adecuadamente reparado.	0.8
No ha experimentado incendio.	1

Fuente: Método Hirosawa

- **Uso del cuerpo o bloque (T4):** el módulo analizado no almacena sustancias tóxicas o químicas que atenten con la calidad de los materiales de la estructura.

Tabla 36. Uso del cuerpo o bloque (T4)

Característica	T4
Almacena sustancias químicas.	0.8
No contiene sustancias químicas.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Tipo de daño estructural (T5):** la estructura no presente ningún signo de daño estructural de consideración o importante.

Tabla 37. Tipo de daño estructural

Característica	T5
Presenta daño estructural grave.	0.8
Presenta daño estructural fuerte.	0.9
Presenta daño estructural ligero o no estructural.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

Los valores finales del índice de deterioro obtenidos por piso son iguales a 1.0 y se muestran en la tabla 38, por lo que se concluirá que el edificio se encuentra en un estado óptimo según el método Hirosawa.

Tabla 38. Cálculo del sub índice de tiempo de deterioro (T) del módulo Aulas 1,2,3

N° Piso	T1	T2	T3	T4	T5	T
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Elaboración: Los autores

El Índice de vulnerabilidad estructural (Is), finalmente se calcula multiplicando los valores de los índices de comportamiento, configuración y deterioro estructural como se muestra en la tabla A. este índice se comparará con el de demanda sísmica (Iso).

Tabla 39. Cálculo del índice Vulnerabilidad Estructural (Is) del módulo Aulas 1,2,3 X-X

DIRECCIÓN	PISO	Eo	SD	T	Is
X	2°	1.34	1.00	1.00	1.34
X	1°	0.70	1.00	1.00	0.70

Elaboración: Los autores

4.6.4. Cálculo del Índice de juicio estructural o demanda Sísmica (Iso), en la dirección de análisis X-X

El índice de demanda sísmica (Iso), se basa en la máxima respuesta espectral esperada para condiciones en las que se encuentra la edificación a evaluar, y se define como:

$$I_{so}(\text{Japón}) = E_{so} * Z * G * U$$

Donde:

Eso: Índice de resistencia básica requerida

Z: Factor de zona, según normas de diseño sismorresistentes

G: Depende de las condiciones topográficas

U: Factor de uso, según la importancia del edificio.

a) Cálculo del Índice Iso para Japón basado en el método Hirosawa.

Se sabe que:

$$I_{so}(\text{Japón}) = E_{so} * Z * G * U$$

a.1) Índice de Resistencia Básica Requerida (Eso)

- Eso: 0.8 (cuando se utiliza el primer método de evaluación).
- Eso: 0.6 (cuando se utiliza el segundo y tercer método de evaluación).

Para el caso de estudio se usó el primer nivel de evaluación porque lo que tomaremos en valor Eso=0.8.

a.2) Factor de zona (Z)

$Z = 0.7 \leq Z \leq 1.0$, tomaremos el mayor valor porque la muestra analizada está en la zona de más alta peligrosidad sísmica.

a.3) Índice de suelo por condiciones topográficas (G)

- G = 1.0, Cuando no hay mucha pendiente.
- G = 1.1, Para Zonas con mucha pendiente

Para el caso estudiado se tomará el valor de G=1.0 por presentar un terreno con pendiente mínima.

a.4) Índice o factor de uso, por importancia (U)

U = 1.0, Índice por importancia en edificios en General.

Entonces tendremos que el índice Iso para Japón será:

$$Iso \text{ Japón} = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 1.0 = 0.8$$

b) Cálculo del Índice Iso para Perú basado en el método Hirosawa.

Se sabe que:

$$I_{so}(\text{Perú}) = E_{so} * Z * G * U$$

b.1) Índice de Resistencia Básica Requerida (Eso)

El índice Eso en Perú no se conoce por lo que se tuvo que determinar.

b.2) Factor de zona (Z)

$Z = 0.10 \leq Z \leq 0.45$, tomaremos el mayor valor porque la muestra analizada está en la zona de más alta peligrosidad sísmica.

b.3) Índice de suelo por condiciones topográficas (G)

- G = 1.0, Cuando no hay mucha pendiente.
- G = 1.1, Para Zonas con mucha pendiente

Para el caso estudiado se tomará el valor de G=1.0 por presentar un terreno con pendiente mínima.

b.4) Índice o factor de uso, por importancia (U)

U = 1.5, Índice por importancia para edificaciones esenciales (Instituciones Educativas).

Entonces, tendremos que el índice Iso para Perú será:

$$Iso \text{ Perú} = Eso * 0.45 * 1.0 * 1.5 = 0.675 * EsoPerú$$

c) Cálculo de los espectros de pseudoaceleraciones según Norma Sísmica japonesa

Cálculo de Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = Z * R_t * A_i * C_o * g$$

c.1) Zonificación (Z), según Norma japonesa

Tabla 40. Zonificación (Norma japonesa)

Índice de Zona	Z
$0.7 \leq Z \leq 1.0$	1

Fuente: Luna, 1998

c.2) Parámetros de Suelo (Tc)

Tabla 41. Parámetros del suelo – Norma japonesa

Tipo de Suelo	Tc
Tipo I (Suelo duro)	0.4
Tipo II (Suelo medio)	0.6
Tipo III (Suelo blando)	0.8
Tc =	0.8

Fuente: Luna, 1998

c.3) Coeficiente espectral de diseño (Rt)

Tabla 42. Coeficiente espectral de diseño (Rt) – Norma japonesa

T	$T < T_c$	$T_c \leq T \leq 2T_c$	$2T_c \leq T$
R_t	1	$1 - 0.2\left(\frac{T}{T_c} - 1\right)^2$	$1.6 * \frac{T_c}{T}$
$T =$	$0,02 * h$	$T = 0.143$	
$R_t =$	1		

Fuente: Luna, 1998

c.4) Coeficiente Cortante Estándar (Co)

Tabla 43. Coeficiente Cortante Estándar (Co) – Norma japonesa

Co	1	Sismo Severo
Co	0.2	Sismo Moderado
Co =	1	

Fuente: Luna, 1998

c.5) Factor de distribución de corte lateral (Ai)

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) * \frac{(1 + 2T)}{(1 + 3T)}$$

$$\propto i = \frac{\text{Suma}W_j}{\text{Suma}W_j}$$

$$\propto i = 1$$

$$A_i = 1$$

Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = Z * R_t * A_i * C_o * g$$

Entonces:

$$S_a = 1.0 * 1.0 * 1.0 * g$$

$$S_a = 1.0g$$

d) Cálculo de los espectros de pseudoaceleraciones según Norma Sísmica Peruana

Cálculo de espectro de pseudoaceleraciones:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

d.1) Zonificación, según E.030 (Z)

Tabla 44. Zonificación sísmica - Norma peruana

Zona	Z4
Z	0.45

Elaboración: Los autores

d.2) Parámetros de Sitio (S)

Tabla 45. Parámetros de sitio (S) – Norma peruana

Perfil Tipo S3	
S	1.1
Tp (S)	1
Tl (S)	1.6

Elaboración: Los autores

d.3) Categoría del Edificio (U)

Tabla 46. Categoría (U) – Norma peruana

Categoría	Esencial
U	1.5

Elaboración: Los autores

d.4) Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas (R)

Tabla 47. Coeficiente básico de Reducción de Fuerzas (R) – Norma peruana

Sistema Estructural	Pórticos
Ro	8

Elaboración: Los autores

d.5) Restricciones de Irregularidades:

No se permiten Irregularidades en altura y en planta (Ia, Ip).

d.6) Cálculo del Periodo de vibración (T)

Tabla 48. Período de vibración (T) – Norma peruana

Ct	35
ht	7.15 m
T	0.20 sg
C	2.5

Elaboración: Los autores

Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Entonces:

$$S_a = (0.45 * 1.5 * 2.5 * 1.1 / 8) * g$$

$$S_a = 0.23 g$$

e) Comparación entre norma peruana y japonesa

Igualando:

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{S_a \text{ Perú}}{S_a \text{ Japón}}$$

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{S_a \text{ Perú}}{S_a \text{ Japón}} = \frac{0.232}{1.0} = 0.232$$

Entonces, obtenemos el índice de resistencia básica requerida (Eso), con la relación calculada:

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{0.675 * E_{so \text{ Perú}}}{0.8} = 0.232$$

$$E_{so \text{ Perú}} = 0.275$$

Debido a que, en el procedimiento para hallar el índice Eso ya se utilizó el factor Z (factor zona), se incluirá el factor con el valor de la 1, el factor G=1 y por la importancia de la edificación (categoría A) la ecuación se afectará el factor uso (U=1.5). Quedando mi valor de Índice de juicio estructural como:

$$I_{so \text{ Perú}} = 0.275 * 1.0 * 1.0 * 1.5$$

$$I_{so \text{ Perú}} = 0.413$$

4.6.4. Comparación entre los Índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla 49 que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el módulo Aulas 1,2,3, no es vulnerable en la dirección X-X.

Tabla 49. Determinación de Vulnerabilidad sísmica del módulo Aulas 1,2,3

DIRECCIÓN	PISO	Is	Iso	ESTADO
X	2°	1.34	0.28	NO VULNERABLE
X	1°	0.70	0.28	NO VULNERABLE

Elaboración: Los autores

4.7. Análisis de vulnerabilidad sísmica en la dirección y-y (método Hirosawa)

El módulo Aulas 1,2,3, se evaluó con el primer nivel de análisis del método Hirosawa con el objetivo de analizar y determinar el grado de vulnerabilidad que tiene dicha edificación. Para lo que se tuvo que calcular el índice de vulnerabilidad estructural (Is) y índice de juicio estructural (Iso) en la dirección de análisis Y-Y, y comparándolos entre sí.

4.7.1. Datos generales de módulo aulas 1,2,3

a) Dimensiones del módulo

A continuación, se describen los datos generales del módulo analizado:

Tabla 50. Datos generales del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

Número de Pisos	np	2
Altura de entrepiso 1er Piso (he1):	he1	3.85 m
Altura de la edificación (ht):	ht	3.85 m
Área de Losa 1er Piso (Alosa1):	Alosa1	247.97 m
Área de Losa 2do Piso (Alosa2):	Alosa2	297.47 m
Espesor de Losa 1er Piso (elosa1):	elosa1	0.20 m
Espesor de Losa 2do Piso (elosa2):	elosa2	0.20 m
Resistencia a la compresión f'c (Kg/cm ²)	f'c	210 kg/cm ²

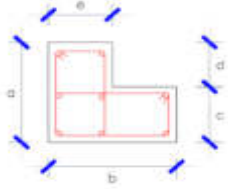
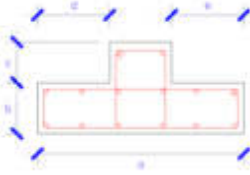
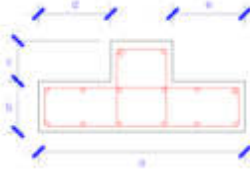
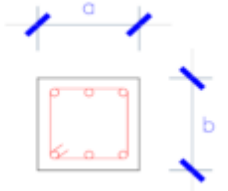

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

Elaboración: Los autores

b) Dimensiones de columnas y muros portantes

Seguidamente, se indican las dimensiones de las columnas y muros portantes que el módulo presenta.

Tabla 51. Dimensiones de las columnas y muros portantes del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

	Sección	Nº Col.	a(cm)	b(cm)	c(cm)	d(cm)	e(cm)	Area (cm ²)
Datos de columnas		4	45	50	25	20	25	7000
		6	100	25	20	37.5	37.5	18000
		6	100	25	20	35	35	18600
		4	25	25				2500
Datos de muros de albañilería		4	25	795				79500

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

Elaboración: Los autores

4.7.2. Parámetros sísmicos (Dirección Y-Y)

La Norma E.030 2018, nos especifica los parámetros a tener en cuenta como factor de zona (Z), suelo (S), uso de la edificación (U), periodo de vibración del suelo(Tp), factor de amplificación sísmica (c), entre otros.

Tabla 52. Parámetros sísmicos del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

Factor de Zona: Zona 4	Z	0.45
Factor de Uso: Edificio Escencial	U	1.5
Factor de Suelo: Suelo Flexible	S	1.1
Periodo Tp	Tp	1
Periodo TL	TL	1.6
Factor de Reducción: Sistema Aporticado	R	3
Factor de amplificación sísmica	C	2.5

Fuente: Expediente I.E. Elvira García y García

Elaboración: Los autores

4.7.3. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Sísmica (I_s), en la dirección de análisis Y-Y

Para la presente investigación se determinó un índice de vulnerabilidad estructural para cada dirección, que depende de sub índices como comportamiento estructural, configuración estructural y deterioro de la edificación, todo esto se analizó con la ayuda de hojas de cálculo basadas en el primer nivel de evaluación del método de Hirosawa. Este método nos proporciona una formula general para determinar dicho Índice.

$$I_s = E_o * SD * T$$

Donde:

Eo: Índice sísmico básico de comportamiento estructural

SD: Índice sísmico básico de configuración estructural

T: Deterioro de la edificación

a) Cálculo del sub Índice sísmico básico de comportamiento estructural (Eo)

En la dirección de análisis (Y-Y), el sistema estructural que predomina es albañilería confinada, se determina de este sub índice, teniendo en cuenta la resistencia y ductilidad proporcionada por las columnas no cortas y muros portantes (Cc y F, respectivamente) y el número de pisos existentes (np). La ecuación que describe a este sub índice se presenta a continuación:

Cálculo de Eo:

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_1 * (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 * C_w + \alpha_3 * C_c\} * F$$

- Cálculo de los coeficientes alfa (α)

Para determinar los valores de los α y del sistema estructural predominante en la dirección analizada, se toma en cuenta las siguientes tablas proporcionadas por el método Hirosawa.

Tabla 53. Determinación del coeficiente α del módulo Aulas 1,2,3

TIPO	α_1	α_2	α_3	MODO DE FALLA
A	1.0	0.7	0.5	Columnas cortas y paredes portantes controlan la falla.
B	0.0	1.0	0.7	Muros de concreto reforzado controlan la falla.
C	0.0	0.0	1.0	Columnas de concreto reforzado controlan la falla.

Fuente: Método de Hirosawa

Tabla 54. Índice de resistencia proporcionada por columnas del módulo Aulas1,2,3

Cmar: Índice de resistencia proporcionada por los muros de relleno de albañilería.	Calcular
Csc: Índice de resistencia proporcionada por las columnas cortas de concreto armado.	0
Ca: Índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería no reforzad o parcialmente confinada.	0
Cw: Índice de resistencia proporcionada por los muros de concreto armado.	0
Cc: Índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de concreto armado.	Calcular

Fuente: Método de Hiroswa

De la tabla se toman los valores de alfa (α) tipo C, ya que los elementos que controlan la falla son las columnas, y la tabla 2 se colocan valores de cero a todos los índices de resistencia que no sean proporcionados por columnas no cortas y muros de albañilería, quedando mi ecuación de comportamiento estructural (E_0) reducida a:

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_1 * C_{mar} + \alpha_3 * C_c\} * F$$

- **Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas no cortas (Cc) y muros de albañilería (Cmar)**

Para determinar este índice se debe tener en cuenta las siguientes ecuaciones que depende del peso de cada piso de la edificación (W_j), resistencia a la compresión de las columnas (f'_c) y de la albañilería (τ_0) y área de columnas según su rigidez (A_{c1} y A_{c2}) y sección de muros portantes (A_{mar}).

$$C_c = \frac{f'_c}{200} * \frac{10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j}$$

$$C_{mar} = \frac{0.6 * 0.85 * \tau_0 * \sum A_{mar}}{\sum_{j=i}^{n_p} W_j}$$

Para el cálculo del peso de edificio por piso, se usó los resultados obtenidos del Programa Etabas 2016 v.16.2.1:

Tabla 55. Peso del edificio por piso

Piso	Masa	Peso (Wj)
2	19.86	194.77
1	35.71	544.95

Fuente: Etabas 2016

Elaboración: Los autores

- **Cálculo de los factores Ac1 y Ac2:**

1. Ac1: Sumatoria de secciones de Columnas, donde la relación h (altura libre) y D (ancho) es menor que 6.
2. Ac2: Sumatoria de secciones de Columnas, donde la relación h (altura libre) y D (ancho) es mayor que 6.

Tabla 56. Factores Ac1 y Ac2 del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

Piso	Ac1	Ac2
2º Piso	0 cm ²	46100.00 cm ²
1º Piso	0 cm ²	46100.00 cm ²

Elaboración: Los autores

En la siguiente tabla 57 se muestran los valores de resistencia a la compresión de concreto verificados en el cuaderno de obra, sumatorias de áreas de columnas, peso por piso de la edificación y la resistencia proporcionada por las columnas de concreto armado calculado con la ecuación anterior.

Tabla 57. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por columnas (Cc) Y-Y

NIVEL DE EVALUACIÓN	f _c (Kg/cm ²)	Ac1 (cm ²)	Ac2 (cm ²)	W _j (kg)	Cc
2° Piso	210	0	46100	254006.8	1.33
1° Piso	210	0	46100	650783.8	0.52

Elaboración: Los autores

A continuación, en la tabla 58 se muestran los valores de resistencia al corte de la albañilería especificado en la Norma E.070, sumatorias de áreas de muros portantes, peso por piso de la edificación y la resistencia proporcionada por la albañilería calculado con la ecuación anterior.

Tabla 58. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por albañilería (Cc) Y-Y

NIVEL DE EVALUACIÓN	f _m (Kg/cm ²)	ΣA _{mar}	τ ₀	W _j (kg)	C _{mar}
2° Piso	65	79500	8.1	254006.8	1.29
1° Piso	65	79500	8.1	650783.8	0.50

Elaboración: Los autores

- Cálculo del índice de ductilidad (F):

El método Hirosawa proporciona la siguiente tabla 59 para determinar el índice de ductilidad. Para la dirección analizada se tomó el valor de F como 1.0.

Tabla 59. Índice de ductilidad (F)

F=	1	Si C_{mar}, C_a y C_{sc} son iguales a cero
F=	0.8	Si c_{mar}, C_a y C_{sc} son diferentes a cero

Fuente: Método Hirosawa

Por último, para calcular el índice E_0 , se reemplazan los valores obtenidos de alfa (α_1 y α_3), resistencia proporcionada por las columnas (C_c) y la albañilería (C_{mar}) y el valor de ductilidad (F) en la ecuación siguiente:

$$E_0 = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * \{\alpha_1 * C_{mar} + \alpha_3 * C_c\} * F$$

Tabla 60. Cálculo del subíndice de comportamiento estructural (E_0) módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

N° de Piso (np)	Modo de falla (α_1)	Modo de falla (α_3)	Índice de resistencia de columnas (C_c)	Índice de resistencia de albañilería (C_{mar})	Índice de ductilidad (F)	Índice de comportamiento estructural (E_0)
2	1.0	0.5	1.79	1.29	1.0	1.47
1	1.0	0.5	0.70	0.50	1.0	0.76

Elaboración: Los autores

b) Cálculo del sub Índice sísmico básico de configuración estructural (SD)

Para determinar el segundo índice, configuración estructural, se tomaron en cuenta la tabla A proporcionada por el método Hirosawa, donde se analizan los parámetros de regularidad de la edificación, relación entre el largo y ancho de la vista en planta de la estructura, contracciones en la losa aligerada, existencia y excentricidad de patios interiores, presencia de subterráneos, adecuada junta de dilatación y la correcta o no uniformidad entre los pisos existentes. La siguiente ecuación y tabla 61 ayuda a calcular el valor de SD fácilmente.

Tabla 61. Subíndice sísmico básico de configuración estructural (SD)

ITEMS (qi)	Gi			Ri
	1.0	0.9	0.8	
Regularidad: ai	Regular (a1)	Mediano (a2)	Irregular (a3)	1
Relación largo – ancho: B=n/m	B < 5	5 < B < 8	B > 8	0.5
Contracción de planta c=d1/do	0,8 < c	0,5 < C < 0,8	C < 0,5	0.5
Atrio o patio interior	Rap=0,1	0,1 < Rap < 0,3	0,3 < Rap	0.5
Excentricidad de atrio o patio interior	f1=0,4	f1 > 0,4	0,4 < f1	0.25
	f2=0,1	0,1 < f2 < 0,3	0,3 < f2	
Subterráneo	1,0 < Ras	0,5 < Ras < 1,0	Ras < 0,5	1
Junta de dilatación	0,01 < s	0,005 < s < 0.01	s < 0.005	0.5
Uniformidad de altura de piso	0,8 < Rh	0,7 < Rh < 0,8	Rh < 0,7	0.5
SD				

Fuente: Método Hirosawa

Cálculo de Índice SD:

$$S_D = \prod_{i=1}^{1=8} q_i$$

Donde:

$$S_D = \prod_{i=1}^{1=8} q_i \dots \text{ Ecuación 9}$$

Donde:

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 7 \text{ y } 8$$

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 6$$

- **Regularidad (ai)**

Para el cálculo de este ítem, el método Hirosawa proporciona tres condiciones para evaluar, en el caso de estudio será la condición a1, porque cumple con lo siguiente:

1. Área saliente será menor que el 10% del área total en planta.
2. La relación entre dimensiones largo – ancho de saliente (L/b), será mayor que 0.5.

Tabla 62. Datos dimensionales módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

Nº de Piso	Largo (L)	Ancho (b)	Área saliente (Ao)	Área total (At)	Ao/At	L/b
2	24.6	2.13	52.40	247.97	21.13%	11.549
1	24.6	2.13	52.40	247.97	21.13%	11.549

Elaboración: Los autores

- **Relación Largo – Ancho (B)**

Para el cálculo de este ítem, el método Hirosawa proporciona la siguiente relación $B=n/m$ para evaluar, en el caso de estudio cumple con lo siguiente:

$$\text{Relación } n/m = B < 5$$

Tabla 63. Relación largo – ancho (B) en módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

Nº de Piso	Largo (n)	Ancho (m)	B=n/m
2	24.6	10.08	2.44
1	24.6	10.08	2.44

Elaboración: Los autores

- **Contracción en planta, Atrio interior, excentricidad de patio y subterráneo**

Para el caso estudiado no existe estos ítems por lo tanto se obviaron.

- **Junta de dilatación (S)**

El módulo Aulas 1,2,3, presenta una junta de dilatación de aproximadamente 1" (2.5 cm), porque lo que se tomó la condición $0.01 < S$.

- **Uniformidad de altura de cada Piso (Rh)**

Se determinará mediante una relación entre el piso inmediatamente superior al que se analiza y la altura de este. Para el caso de que el piso analizado no presente un piso superior se reemplazará por el piso inferior a este.

En el caso estudiado cumple con la siguiente condición: $0.8 < Rh$.

Tabla 64. Uniformidad de altura de cada piso (Rh) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

N° de Piso	he	Rh
2	3.30 m	0.86
1	3.85 m	1.17

Elaboración: Los autores

Para calcular el sub índice de configuración estructural (SD), se reemplazaron en la ecuación A todos los valores calculados anteriormente.

Tabla 65. Cálculo del subíndice de Configuración Estructural (SD) del módulo Aulas 1,2,3

ITEMS	Gi			Ri	SD
	(qi)	1.0	0.9		
Regularidad: a _i	Regular (a1)	Mediano (a2)	Irregular (a3)	1	1.0
Relación largo – ancho: B=n/m	B <5	5 < B <8	B >8	0.5	1.00
Contracción de planta c=d1/do	0,8 < c	0,5 < C < 0,8	C < 0,5	0.5	
Atrio o patio interior	Rap=0,1	0,1 < Rap < 0,3	0,3 < Rap	0.5	
Excentricidad de atrio o patio interior	f1=0,4	f1 > 0,4	0,4 < f1	0.25	
	f2=0,1	0,1 < f2 < 0,3	0,3 < f2		
Subterráneo	1,0 < Ras	0,5 < Ras < 1,0	Ras < 0,5	1	
Junta de dilatación	0,01 < s	0,005 < s < 0.01	s < 0.005	0.5	1.00
Uniformidad de altura de piso	0,8 < Rh	0,7 < Rh < 0,8	Rh < 0,7	0.5	1.00
SD					1.00

Elaboración: Los autores

c) Cálculo del sub Índice de deterioro de la edificación (T)

Para determinar este sub índice, se hicieron visitas dentro de las instalaciones de la institución educativa Elvira García y García, para verificar las condiciones en las que encontraba las estructuras de cada módulo estudiado.

El método Hirosawa nos proporciona cinco condiciones de deterioro que se analizan en siguientes tablas:

- **Deformación permanente (T1):** De acuerdo con las visitas realizadas, llegamos a la conclusión que el módulo analizado no presenta signos de deformaciones en su estructura.

Tabla 66. Deformación permanente (T1)

Característica	T1
El edificio presenta inclinación debido a asentamiento diferencial.	0.7
El edificio está construido sobre relleno artificial.	0.9
El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente	0.9
Tiene visible deformación de vigas o columnas.	0.9
No presenta signos de deformación.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo (T2):** La estructura analizada solo presenta fisuras por efectos de temperatura en vigas del segundo piso, que no son de consideración.

Tabla 67. Grietas en muros o columnas (T2)

Característica	T2
Presenta filtraciones con corrosión visible de armaduras.	0.8
Presenta grietas inclinadas visibles en columnas.	0.9
Presenta grietas visibles en muros.	0.9
Presenta filtraciones, pero sin corrosión de armaduras.	0.9
Nada de lo anterior.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Incendios (T3):** La institución educativa no ha experimentado ningún tipo de accidentes como lo son los incendios.

Tabla 68. Incendios (T3)

Característica	T3
Ha experimentado incendio, pero no fue reparado.	0.7
Ha experimentado incendio y fue adecuadamente reparado.	0.8
No ha experimentado incendio.	1

Fuente: Método Hirosawa

- **Uso del cuerpo o bloque (T4):** El módulo analizado no almacena sustancias tóxicas o químicas que atenten con la calidad de los materiales de la estructura.

Tabla 69. Uso del cuerpo o bloque (T4)

Característica	T4
Almacena sustancias químicas.	0.8
No contiene sustancias químicas.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

- **Tipo de daño estructural (T5):** La estructura no presente ningún signo de daño estructural de consideración o importante.

Tabla 70. Uso del cuerpo o bloque (T5)

Característica	T5
Presenta daño estructural grave.	0.8
Presenta daño estructural fuerte.	0.9
Presenta daño estructural ligero o no estructural.	1.0

Fuente: Método Hirosawa

Los valores finales del índice de deterioro obtenidos por piso son iguales a 1.0 y se muestran en la tabla 71, por lo que se concluirá que el edificio se encuentra en un estado óptimo según el método Hirose.

Tabla 71. Cálculo del sub índice de tiempo de deterioro (T) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

N° Piso	T1	T2	T3	T4	T5	T
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Elaboración: Los autores

El Índice de vulnerabilidad estructural (Is), finalmente se calcula multiplicando los valores de los índices de comportamiento, configuración y deterioro estructural como se muestra en la tabla 72. este índice se comparará con el de demanda sísmica (Iso).

Tabla 72. Cálculo del índice Vulnerabilidad Estructural (Is) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

DIRECCIÓN	PISO	Eo	SD	T	Is
Y	2°	1.47	1.00	1.00	1.47
Y	1°	0.76	1.00	1.00	0.76

Elaboración: Los autores

4.7.4. Cálculo del Índice de juicio estructural o demanda Sísmica (Iso), en la dirección de análisis Y-Y

El índice de demanda sísmica (Iso), se basa en la máxima respuesta espectral esperada para condiciones en las que se encuentra la edificación a evaluar, y se define como:

$$I_{so}(Japón) = E_{so} * Z * G * U$$

Donde:

Eso: Índice de resistencia básica requerida

Z: Factor de zona, según normas de diseño sismorresistentes

G: Depende de las condiciones topográficas

U: Factor de uso, según la importancia del edificio.

a) Cálculo del Índice Iso para Japón basado en el método Hirosawa.

Se sabe que:

$$I_{so}(\text{Japón}) = E_{so} * Z * G * U$$

a.1.) Índice de Resistencia Básica Requerida (Eso)

- Eso: 0.8 (cuando se utiliza el primer método de evaluación).
- Eso: 0.6 (cuando se utiliza el segundo y tercer método de evaluación).

Para el caso de estudio se usó el primer nivel de evaluación porque lo que tomaremos en valor Eso=0.8.

a.2) Factor de zona (Z)

$Z = 0.7 \leq Z \leq 1.0$, tomaremos el mayor valor porque la muestra analizada está en la zona de más alta peligrosidad sísmica.

a.3) Índice de suelo por condiciones topográficas (G)

- G = 1.0, Cuando no hay mucha pendiente.
- G = 1.1, Para Zonas con mucha pendiente

Para el caso estudiado se tomará el valor de G=1.0 por presentar un terreno con pendiente mínima.

a.4) Índice o factor de uso, por importancia (U)

U = 1.0, Índice por importancia en edificios en General.

Entonces tendremos que el índice Iso para Japón será:

$$Iso\ Japón = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 1.0 = 0.8$$

b) Cálculo del Índice Iso para Perú basado en el método Hirosawa.

Se sabe que:

$$I_{so}(Japón) = E_{so} * Z * G * U$$

b.1) Índice de Resistencia Básica Requerida (Eso)

El índice Eso en Perú no se conoce por lo que se tuvo que determinar.

b.2) Factor de zona (Z)

Z = 0.10 ≤ Z ≤ 0.45, tomaremos el mayor valor porque la muestra analizada está en la zona de más alta peligrosidad sísmica.

c.3) Índice de suelo por condiciones topográficas (G)

- G = 1.0, Cuando no hay mucha pendiente.
- G = 1.1, Para Zonas con mucha pendiente

Para el caso estudiado se tomará el valor de G=1.0 por presentar un terreno con pendiente mínima.

c.4) Índice o factor de uso, por importancia (U)

U = 1.5, Índice por importancia para edificaciones esenciales (Instituciones Educativas).

Entonces tendremos que el índice Iso para Perú será:

$$Iso\ Perú = Eso * 0.45 * 1.0 * 1.5 = 0.675 * EsoPerú$$

c) Espectros de pseudoaceleraciones según Norma Sísmica japonesa

Cálculo de Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = Z * R_t * A_i * C_o * g$$

c.1) Zonificación, según Norma japonesa

Tabla 73. Zonificación (Norma japonesa)

Índice de Zona	Z
$0.7 \leq Z \leq 1.0$	1

Fuente: Luna, 1998

c.2) Parámetros de Suelo

Tabla 74. Parámetros del suelo – Norma japonesa

Tipo de Suelo	Tc
Tipo I (Suelo duro)	0.4
Tipo II (Suelo medio)	0.6
Tipo III (Suelo blando)	0.8
Tc =	0.8

Fuente: Luna, 1998

c.3) Coeficiente espectral de diseño (Rt)

Tabla 75. Coeficiente espectral de diseño (Rt) – Norma japonesa

T	$T < T_c$	$T_c \leq T \leq 2T_c$	$2T_c \leq T$
Rt	1	$1 - 0.2\left(\frac{T}{T_c} - 1\right)^2$	$1.6 * \frac{T_c}{T}$
T=	0,02*h	T = 0.143	
Rt=	1		

Fuente: Luna, 1998

c.4) Coeficiente Cortante Estandar (Co)

Tabla 76. Coeficiente Cortante Estándar (Co) – Norma japonesa

Co	1	Sismo Severo
Co	0.2	Sismo Moderado
Co =	1	

Fuente: Luna, 1998

c.5) Factor de distribución de corte lateral (Ai)

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) * \frac{(1 + 2T)}{(1 + 3T)}$$

$$\alpha_i = \frac{\text{Suma}W_j}{\text{Suma}W_j}$$

$$\alpha_i = 1$$

$$A_i = 1$$

Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = Z * R_t * A_i * C_o * g$$

Entonces:

$$S_a = 1.0 * 1.0 * 1.0 * 1.0 * g$$

$$S_a = 1.0 g$$

d) Cálculo de los espectros de pseudoaceleraciones según Norma Sísmica Peruana

Cálculo de Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

d.1) Zonificación, según E.030 (Z)

Tabla 77. Zonificación sísmica (Z) – Norma peruana

Zona	Z4
Z	0.45

Elaboración: Los autores

d.2) Parámetros de Sitio (S)

Tabla 78. Parámetros de sitio (S) – Norma peruana

Perfil Tipo S3	
S	1.1
Tp (S)	1
TI (S)	1.6

Elaboración: Los autores

d.3) Categoría del Edificio (U)

Tabla 79. Categoría (U) – Norma peruana

Categoría	Esencial
U	1.5

Elaboración: Los autores

d.4) Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas (R)

Tabla 80. Coeficiente básico de Reducción de Fuerzas (R) – Norma peruana

Sistema Estructural	Albañilería
R _o	3

Elaboración: Los autores

d.5) Restricciones de Irregularidades

No se permiten Irregularidades en altura y en planta (I_a, I_p).

d.6) Cálculo del Periodo de vibración (T)

Tabla 81. Período de vibración (T) – Norma peruana

C_t	35
h_t	7.15 m
T	0.20 sg
C	2.5

Elaboración: Los autores

Espectro de Pseudoaceleraciones:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Entonces:

$$S_a = (0.45 * 1.5 * 2.5 * 1.1 / 3) * g$$

$$S_a = 0.619 g$$

e) Comparación entre Norma Peruana y Japonesa

Igualando:

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{S_a \text{ Perú}}{S_a \text{ Japón}}$$

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{S_a \text{ Perú}}{S_a \text{ Japón}} = \frac{0.619}{1.0} = 0.619$$

Entonces, obtenemos el índice de resistencia básica requerida (E_{so}), con la relación calculada:

$$\frac{I_{so \text{ Perú}}}{I_{so \text{ Japón}}} = \frac{0.675 * E_{so \text{ Perú}}}{0.8} = 0.619$$

$$E_{so \text{ Perú}} = 0.733$$

Debido a que en el procedimiento para hallar el índice E_{so} ya se utilizó el factor Z (factor zona), se incluirá el factor con el valor de la 1, el factor $G=1$ y por la importancia de la edificación (categoría A) la ecuación se afectará el factor uso ($U=1.5$). Quedando mi valor de Índice de juicio estructural como:

$$Iso\ perú = 0.733 * 1.0 * 1.0 * 1.5$$

$$Iso\ perú = 1.10$$

4.7.5. Comparación entre los Índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla 80 que los índices de vulnerabilidad en el primer piso en comparación con el segundo nivel, son superados por los índices de juicio estructural por lo que se puede concluir que el módulo Aulas 1,2,3, es vulnerable en la dirección Y-Y.

Tabla 82. Determinación de Vulnerabilidad sísmica del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

DIRECCIÓN	PISO	Is	Iso	ESTADO
X	2°	1.74	0.73	NO VULNERABLE
X	1°	0.76	0.73	NO VULNERABLE

Elaboración: Los autores

4.8. Análisis dinámico lineal de módulo aulas 1,2,3, con el programa Etabs 2016 v.16.2.1

4.8.1. Norma de diseño utilizada en modelamiento de la estructura

El modelamiento realizado respeta los lineamientos y parámetros que estipula la Norma E.030 2018 Diseño sismorresistente 2017, para así verificar el estado sísmico del módulo analizado.

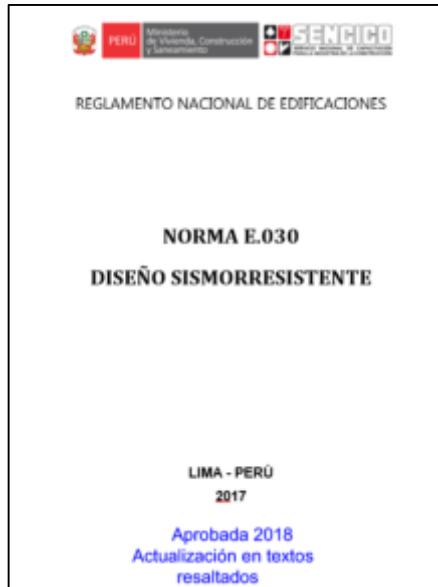


Ilustración 17. Norma E.030 2018 Diseño Sismorresistente

Fuente: Norma E-030

4.8.2. Modelamiento de la estructura del Módulo Aulas 1,2,3

a) Definir dimensiones de grillas y altura de piso

El primer paso para el modelamiento de la edificación es definir las dimensiones de las grillas en la dirección X-X y Y-Y, a su vez las alturas de entrepiso de cada nivel.

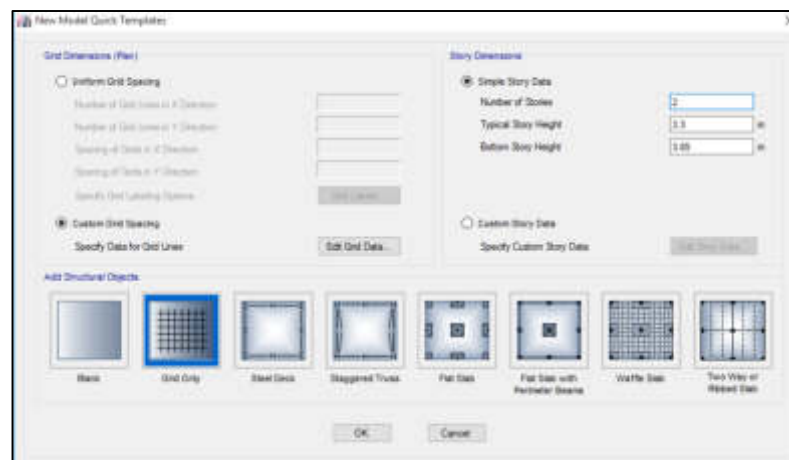


Ilustración 18. Definir dimensiones de grillas

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

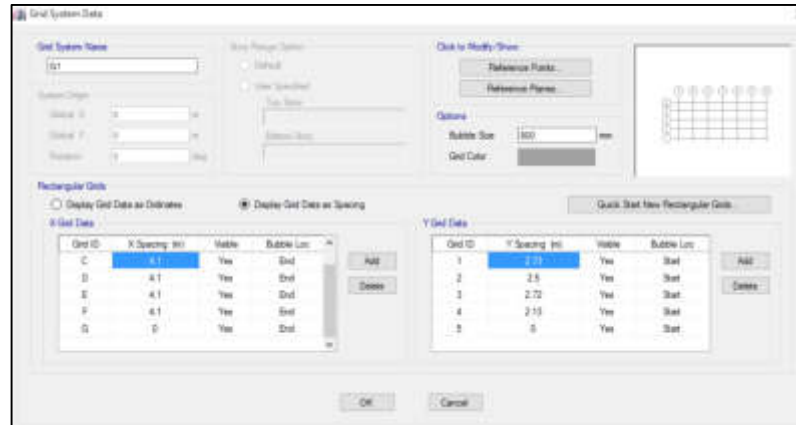


Ilustración 19. Definir altura de piso

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

b) Definir propiedades de los materiales y dimensiones de elementos estructurales

Paso a seguir y no más importante es definir la calidad de los materiales de concreto armado y albañilería como la resistencia a la compresión y corte, módulo de elasticidad, módulo de poisson y peso específico. También se definió las dimensiones de cada elemento estructural como secciones de columnas y vigas, espesor de losa aligerada y muros portantes. Y por último se dibujan todos los elementos ayudándose de las grillas z, y, z.



Ilustración 20. Definir propiedades de materiales

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

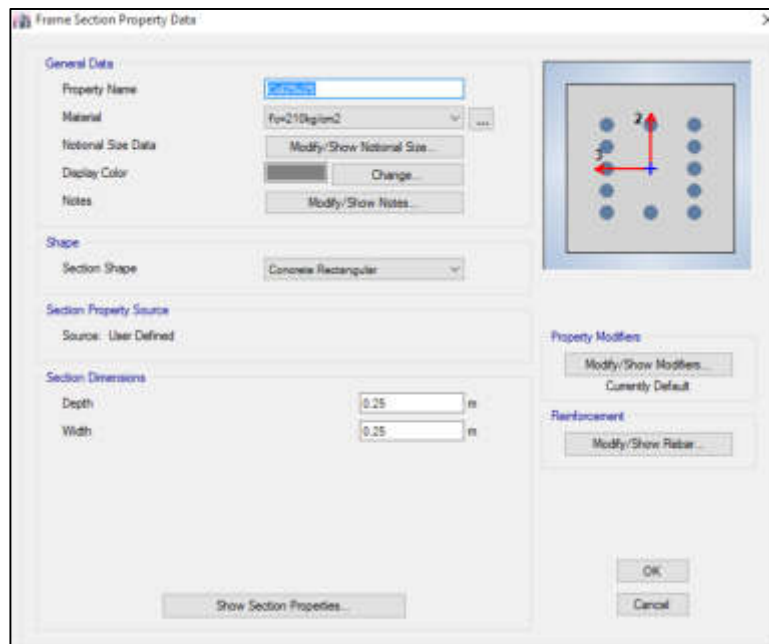


Ilustración 21. Definir dimensiones de elementos estructurales

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

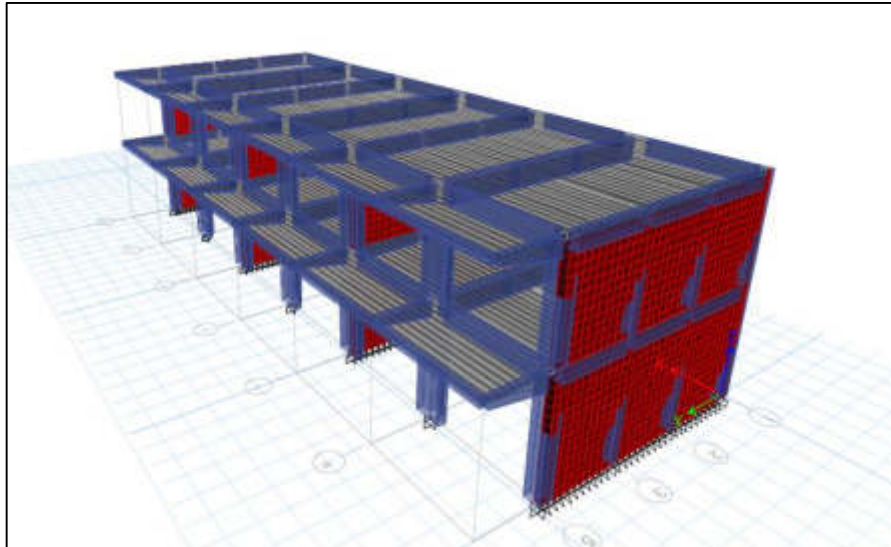


Ilustración 22. Vista 3D del modelo terminado

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

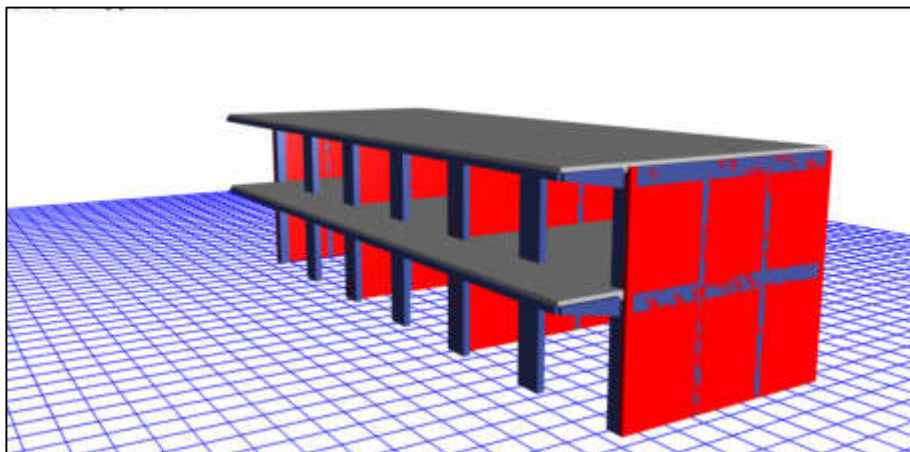


Ilustración 23. Vista Extrude modelo terminado

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

c) Definición de cargas

Se definieron las cargas verticales en la losa de techo en cada piso con el comando Load Patterns, como cargas de peso propio (PP) que el programa mismo lo calcula, peso muerto (PM), peso de carga viva de entrepiso (CV) y de techo (CVULT), sismos estáticos en cada dirección de análisis SXX-EST1, SXX-EST2, SYY-EST1, SYY-EST2) definidos teniendo en cuenta los parámetros de la Norma E.030 2018.

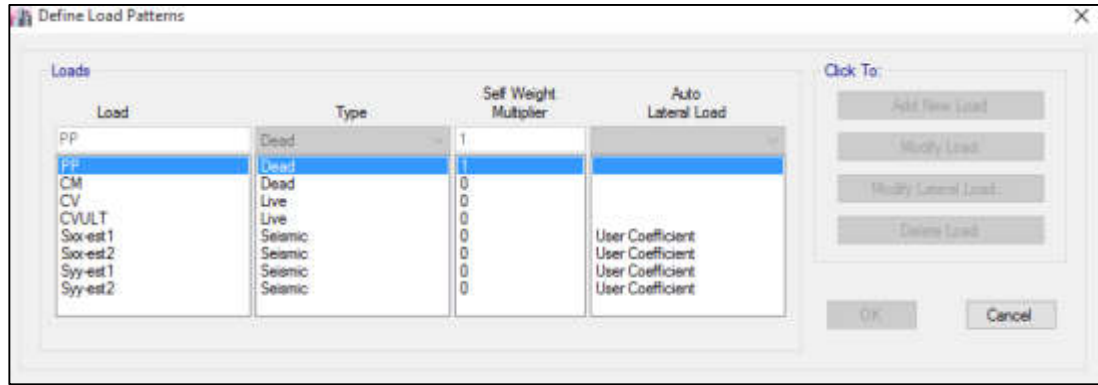


Ilustración 24. Definición de cargas

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

d) Se asumió como estructura regular

Para poder definir las cargas por sismos estáticos en cada dirección (X, Y), se asumió que la estructura modelada es regular ($I_a=1.0$, $I_p=1.0$), quedando el factor de reducción (R) inalterado.

Tabla 83. Factor de Reducción (R) del módulo Aulas 1,2,3 X-X

R = $I_a \cdot I_p \cdot R_o$	
I_a	1
I_p	1
R_o	8
Rx (Pórticos)	8

Elaboración: Los autores

Tabla 84. Factor de Reducción (R) del módulo Aulas 1,2,3 Y-Y

R = $I_a \cdot I_p \cdot R_o$	
I_a	1
I_p	1
R_o	3
Ry (Albañilería)	3

Elaboración: Los autores

Tomando los lineamientos de la Norma E.030 2018, se define los factores de zonificación, ubicación sísmica, así como tipo de suelo, categoría o uso de la edificación.

Tabla 85. Factores asumidos

Z	0.45	ZONA 4
S	1.1	SUELO 3
Tp	1	
TI	1.6	
U	1.5	CATEGORIA A
Rx	8	Asumimos
RY	3	Asumimos

Elaboración: Los autores

El siguiente procedimiento es para analizar al programa y obtener los periodos de vibración de la estructura (T), la Norma E.030 2018 también proporciona una fórmula para determinar el periodo, $T=h_n/C_T$:

Según formula de Norma E.030 2018:

$$T_x = \frac{h_n}{C_T} = \frac{7.15m}{35} = 0.20sg$$

$$T_y = \frac{h_n}{C_T} = \frac{7.15m}{60} = 0.119sg$$

Periodo obtenido del Etabs 2106 v16.2.1:

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	0.274	1	0	0	0
Modal	2	0.116	0	0.065	0.935	0
Modal	3	0.116	0.001	0.001	0.007	0.991
Modal	4	0.116	0	0.028	0.971	0.001
Modal	5	0.102	0	0.814	0.186	0
Modal	6	0.097	0.001	0	0	0.999

Ilustración 25. Período de la estructura

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

$$T_x = 0.274 \text{ sg}$$

$$T_y = 0.116 \text{ sg}$$

e) Cálculo de las fuerzas cortantes en la base:

Para la Norma E.030 2018 menciona como determinar las fuerzas cortantes en la base de la siguiente manera:

Teniendo los periodos con la siguiente tabla proporcionada en la Norma sismorresistente encontramos los periodos de vibración del suelo que dependen del tipo de suelo (S):

Tabla 86. Período de vibración del suelo

	Perfil de suelo			
	So	S1	S2	S3
Tp(S)	0.3	0.4	0.6	1.0
Tl(S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E-020, 2017

Elaboración: Los autores

Con las condiciones siguientes hallamos los factores de amplificación sísmica (C), y el exponente relacionado con el periodo de vibración (K):

$T < T_p$	$C = 2,5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$
$T > T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$

Ilustración 26. Factores de amplificación sísmica

Fuente: Norma E.030 2018

- | |
|---|
| <p>a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.</p> <p>b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.</p> |
|---|

Ilustración 27. Condiciones para el período de vibración

Fuente: Norma E.030 2018

Entonces determinando el factor $C_x=C_y= 2.5$ y factor $K= 1.0$, se podrá calcular la cortante sísmica basal (V), con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

Reemplazando en la fórmula:

$$V_x = ((0.45 * 1.5 * 2.5 * 1.1)/8) * P = 0.232 * P$$

$$V_y = ((0.45 * 1.5 * 2.5 * 1.1)/3) * P = 0.6188 * P$$

Los valores de V y K, se ingresarán al software para poder obtener las cortante en cada piso. Además, la relación de C/R, no deberá ser menor que 0.11, obteniendo en la dirección X un valor de 0.31 y en Y 0.83, cumpliendo esa condición de la Norma E.030 2018.



Ilustración 28. Ingreso de los valores V y K para X

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1



Ilustración 29. Ingreso de los valores V y K para Y

Fuente: Etabs 2016

Luego, se adicionará un combo envolviendo los sismos estáticos creados:

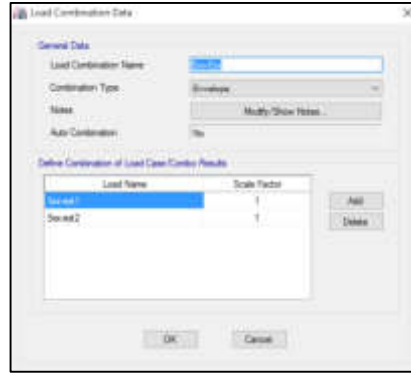


Ilustración 30. Combo para Sismo en X

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

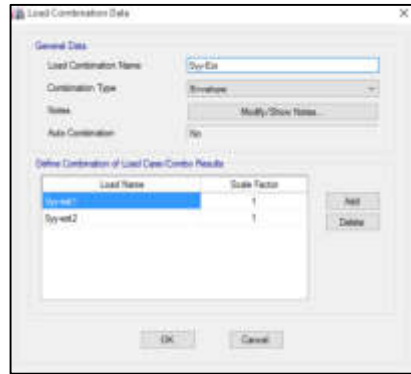


Ilustración 31. Combo para sismo en Y

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Y obteniendo así, los cortantes del análisis del software Etabs:

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
Story2	Sis Est Max	Bottom	0	-64.238	0	338.4964	0	-211.9854
Story2	Sy Est Max	Bottom	0	0	-171.3383	-1896.6912	565.4163	0
Story1	Sis Est Max	Bottom	0	-126.4293	0	666.6711	0	-698.7383
Story1	Sy Est Max	Bottom	0	0	-337.2175	-3732.9619	1863.7038	0

Ilustración 32. Cortantes del Edificio

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Tabla 87. Cortante en cada dirección analizada

Piso	Cortante	Vx	Vy
2	Sis Est	64.238	171.3383
1	Sis Est	126.4293	337.2175

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

f) Cálculo de excentricidades

Para el cálculo de excentricidades se debe obtener los centros de masa y de rigidez de la estructura, y restarlos entre sí para compararlos con las condiciones de la Norma E.030 2018, que señala que deben ser menor que 0.05 la longitud perpendicular a la dirección de análisis.

$$Lx = 24.6 \text{ m}$$

$$Ly = 10.08 \text{ m}$$

Story	Diaphragm	Mass X ton-ft/s	Mass Y ton-ft/s	XCR in	YCR in	Cumulative X ton-ft/s	Cumulative Y ton-ft/s	XCCM in	YCCM in	XCR in	YCR in
Story 1	01	35.70909	35.70909	12.2999	4.7729	35.70909	35.70909	12.2999	4.7729	12.3	3.996
Story 2	02	19.86275	19.86275	12.2999	4.7654	19.86275	19.86275	12.2999	4.7654	12.3	4.8074

Ilustración 33. Excentricidades según software

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Tabla 88. Excentricidades en cada dirección de análisis

Piso	Xccm	Yccm	Xcr	Ycr	Lxx	Lyy	exxc	exxc	< 0.05Lx	< 0.05Ly
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
2	12.3	4.77	12.3	4.00	24.6	10.08	0.0001	0.758	0.50	1.23
1	12.3	4.77	12.3	3.99	24.6	10.08	0.0001	0.758	0.50	1.23

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Como se aprecia en la tabla anterior, las excentricidades están por debajo del 5% de la longitud en cada dirección, por lo tanto, cumpliendo las condiciones de la Norma E.030 2018.

g) Cálculo de distorsiones estáticas

Se crea un combo envolviendo a los cortantes estáticos y colocándole un factor

$$Rx = 8 * 0.75 = 6$$

$$Ry = 3 * 0.75 = 2.25$$

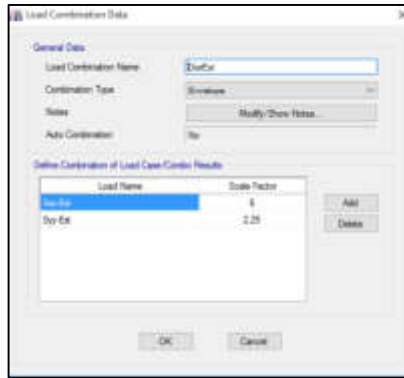


Ilustración 34. Combo envolvente

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Y finalmente, el software analiza y calcula las distorsiones en las direcciones X y Y.

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story2	DistEst Max	X	0.005952	9	24.6	10.08	7.15
Story1	DistEst Max	X	0.004869	46	20.5	7.95	3.85
Story1	DistEst Max	Y	0.000848	1369	0	5.4773	3.85

Ilustración 35. cálculo de distorsiones

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Ilustración 36. Límites para la distorsión del entrepiso

Fuente: Norma E.030 2018

Podemos apreciar en la tabla de resultados que en la dirección X las distorsiones salen mayores que en la dirección Y, por lo que, se puede decir que es mucho menos rígido en esa dirección, pero si cumpliendo los parámetros de derivas que me indica la Norma E.030 2018, para dirección de concreto armado, distorsiones menores que 0.007 y para albañilería menores que 0.005.

h) Creación del espectro dinámico

Se define el espectro en cada dirección de análisis, para determinar las distorsiones dinámicas, según la Norma E.030 2018.

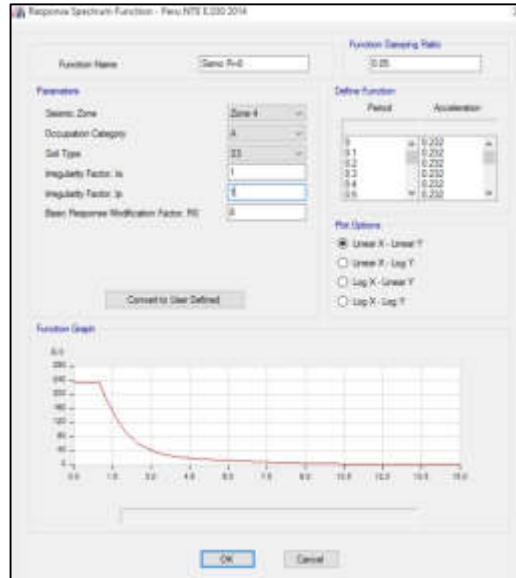


Ilustración 37. Definición del espectro en X

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

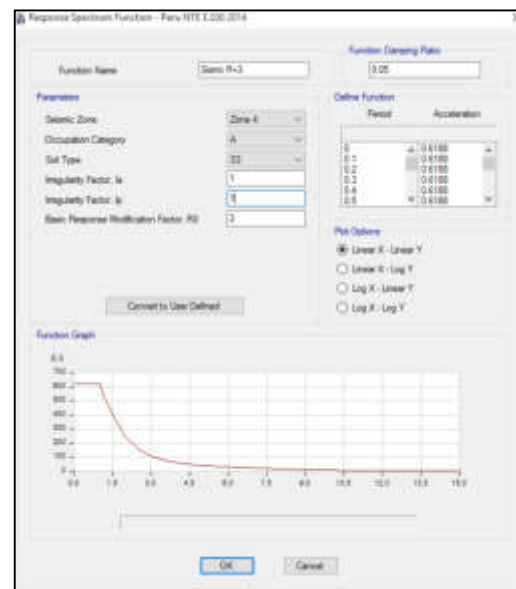


Ilustración 38. Definición del espectro en Y

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Por último, para analizar las distorsiones dinámicas se crean casos de carga de sismo dinámica y combo de distorsiones afectados por el factor R reducidos para un sismo severo.

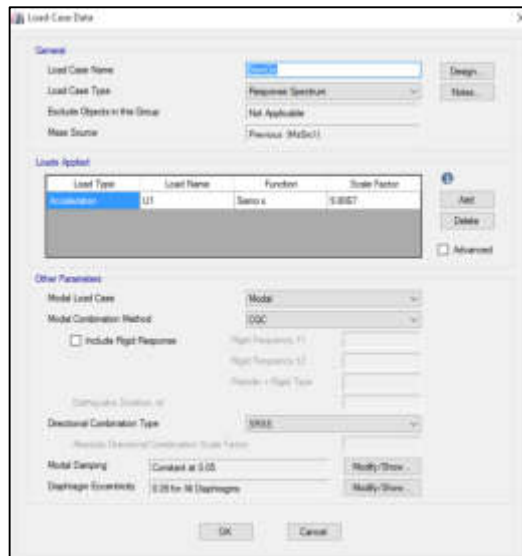


Ilustración 39. Casos de carga de sismo dinámica en X

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

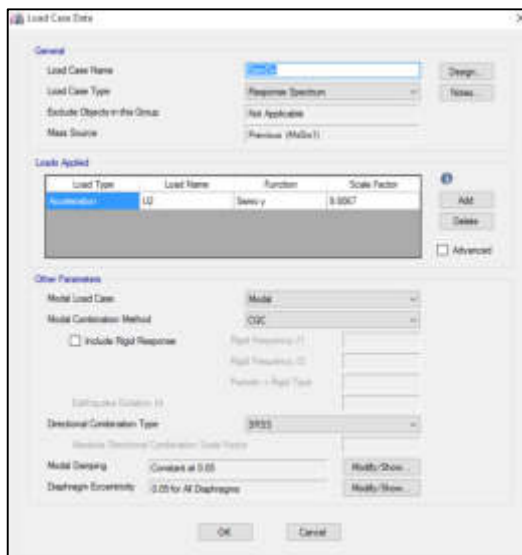


Ilustración 40. Casos de carga de sismo dinámica en Y

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

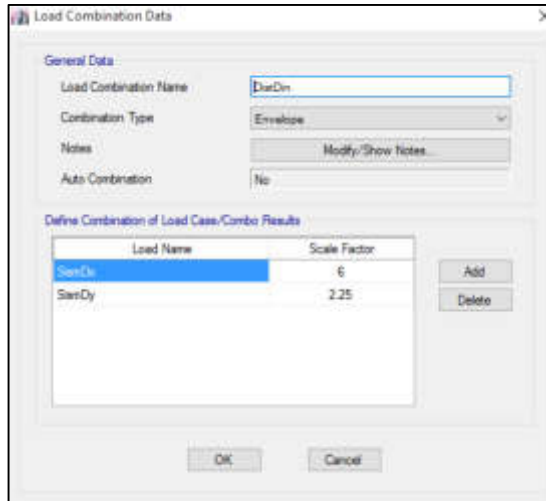


Ilustración 41. Combo de distorsiones

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Entonces, finalmente se encuentran las distorsiones dinámicas en cada dirección, y se puede apreciar que cumplen con lo señalado en la Norma E.030 2018.

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story2	DistDin Max	X	0.005386	9	24.6	10.08	7.15
Story1	DistDin Max	X	0.004341	46	20.5	7.95	3.85

Ilustración 42. Distorsiones dinámicas en cada dirección de análisis

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Tabla 89. Límites para la distorsión de entrepiso

Material Predominante	$(\Delta i / h_{ei})$
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Norma E.030 2018

Elaboración: Los autores

i) Verificación de irregularidades por rigidez – piso blando (en altura l_a)

La Norma E.030 2018, nos indica que toda estructura analizada sísmicamente debe cumplir parámetros de irregularidades estructurales en altura (l_a), si es que no cumplieren con las condiciones el valor será igual a 0.75.

Para iniciar con el análisis de irregularidades se obtienen las distorsiones en las esquinas del módulo.



Ilustración 43. Distorsiones en las esquinas

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

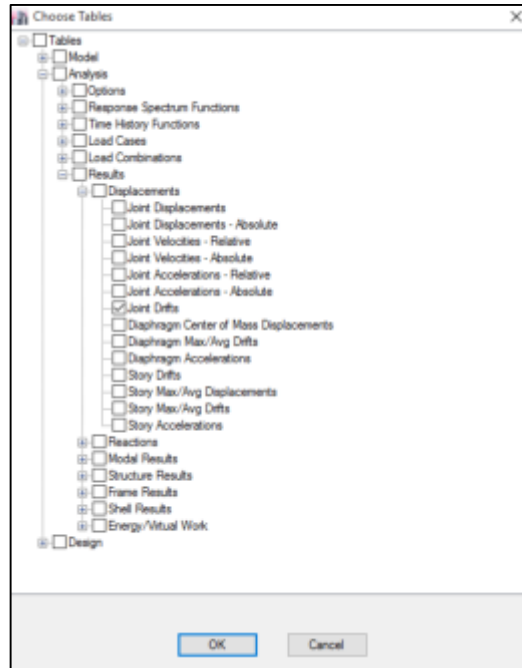


Ilustración 44. Tablas de resultados del Etabs

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

En las siguientes imágenes se puede apreciar las distorsiones en cada uno de los cuatro puntos.

Punto 1

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	Displacement X m	Displacement Y m	Drift X	Drift Y
Story2	25	113	Dist/Dir Max	0.034115	0.002482	0.005334	0.000278
Story1	25	114	Dist/Dir Max	0.016513	0.001563	0.004289	0.000406

Ilustración 45. Distorsiones en el punto 1

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Punto 2

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	Displacement X m	Displacement Y m	Drift X	Drift Y
Story2	41	110	Dist/Dir Max	0.034435	0.002482	0.00537	0.000278
Story1	41	111	Dist/Dir Max	0.016713	0.001563	0.004341	0.000406

Ilustración 46. Distorsiones en el punto 2

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Punto 3

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	Displacement X m	Displacement Y m	Drift X	Drift Y
Story2	27	137	DistDin Max	0.034115	0.002246	0.005334	0.000252
Story1	27	138	DistDin Max	0.016513	0.001413	0.004289	0.000367

Ilustración 47. Distorsiones en el punto 3

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Punto 4

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	Displacement X m	Displacement Y m	Drift X	Drift Y
Story2	41	110	DistDin Max	0.034435	0.002482	0.00537	0.000278
Story1	41	111	DistDin Max	0.016713	0.001563	0.004341	0.000406

Ilustración 48. Distorsiones en el punto 4

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Tabla 90. Distorsiones

Piso	Altura	Distorsiones							
		1		2		3		4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
2	3.3	0.0053	0.00028	0.0054	0.00028	0.0053	0.00028	0.0054	0.00028
1	3.85	0.0043	0.00041	0.0043	0.00041	0.0043	0.00041	0.0043	0.00041

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Para hallar las distorsiones relativas se multiplican las distorsiones por la altura de entrepiso en cada piso.

Tabla 91. Distorsiones Relativas

Piso	Altura	Distorsiones Relativas							
		1		2		3		4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
2	3.3	0.01760	0.0009	0.017	0.00092	0.0176	0.00092	0.0178	0.00092
1	3.85	0.01651	0.0015	0.016	0.0017	0.0165	0.0016	0.0167	0.00157

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Para determinar las distorsiones absolutas se suman las distorsiones relativas de entrepiso.

Tabla 92. Distorsiones Absolutas

		Distorsiones Absoluto							
Piso	Altura	1		2		3		4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
2	3.3	0.0341	0.00248	0.0344	0.0025	0.0341	0.0025	0.0344	0.002
1	3.85	0.0165	0.00156	0.0167	0.0016	0.0165	0.0016	0.0167	0.0016

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Se obtienen del Software los desplazamientos en centro de masa con el combo distorsión dinámica y casos de carga dinámicos.

Story	Diaphragm	Load Case/Combo	UX m	UY m	RZ rad	Point	X m	Y m	Z m
Story2	D2	Dist/Din Max	0.03423	0.002128	6.4E-05	1	12.2999	4.7654	7.15
Story1	D1	Dist/Din Max	0.016586	0.001339	4E-05	2	12.2999	4.7729	3.85

Ilustración 49. Desplazamientos en el centro de masa en X

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Story	Diaphragm	Load Case/Combo	UX m	UY m	RZ rad	Point	X m	Y m	Z m
Story2	D2	Swan/Dy Max	0.005705	1E-06	1.1E-05	1	12.2999	4.7654	7.15
Story1	D1	Swan/Dy Max	0.002764	1.58E-07	7E-06	2	12.2999	4.7729	3.85

Ilustración 50. Desplazamientos en el centro de masa en Y

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Story	Diaphragm	Load Case/Combo	UX m	UY m	RZ rad	Point	X m	Y m	Z m
Story2	D2	Swan/Dy Max	1.1E-05	0.000946	1.3E-05	1	12.2999	4.7654	7.15
Story1	D1	Swan/Dy Max	7E-06	0.000595	8E-06	2	12.2999	4.7729	3.85

Ilustración 51. Desplazamientos en el centro de masa en Z

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Tabla 93. Desplazamientos con Distorsión dinámica

Piso	Altura	Load Case	UY	UY
2	3.3	Dist din	0.03423	0.002128
1	3.85	Dist din	0.016586	0.001339

Tabla 94. Distorsiones con casos de carga dinámicos

Piso	Altura	SXXDIN		SYYDIN	
		UX	UY	UY	UY
2	3.3	0.005705	1.00E-06	1.10E-05	0.000946
1	3.85	0.002764	1.98E-07	7.00E-06	0.000595

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Concluyendo, se determinan las irregularidades por rigidez de la estructura.

Tabla 95. Irregularidades por Rigidez

Piso	h	CORTANTES		DIST-ABS		DIST-RELATIVAS		KL		CONDICIONES		NORMA E.030 2018	
		VX	VY	DaX	DaY	DrX	DrY	X	Y	X	Y	X>0.70	Y>0.70
2	3.3	59.44	71.38	0.0057	9.46E-04	0.0029	3.51E-04	20213.43	2.03E+05				
1	3.85	111.5	152.23	0.0028	5.95E-04	0.0027	5.95E-04	40242.98	2.56E+05	1.99090306	1.26E+00	Cumple	Cumple

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

Como se puede apreciar la rigidez del primer piso es más 70% del piso inmediato superior, por lo tanto, cumple irregularidad por rigidez.

j) Verificación de Irregularidades Torsional en planta (Ip)

Se debe calcular las distorsiones máximas relativas, desplazamientos permisibles ($0.007 \cdot h_e$) y desplazamientos relativos en el centro de masa. La condicione por torsión de la Norma E.030 2018, señala que la relación entre distorsión máxima y desplazamiento relativo debe ser menor que el valor 1.2.

Tabla 96. Verificación de irregularidad torsional

Piso	he	DISTOR MÁX-RELATIVAS		Desplaz. Permisible en x-x	Desplaz. Permisible en y-y	50% D. Permisible en x-x	50% D. Permisible en y-y	Despl. CM Relativo		Condición		NORMA E.030 2018	
		X	Y					X	Y	X	Y	X<1.2	Y<1.2
2	3.3	0.0177	0.00092	0.0231	0.0165	0.0116	0.00578	0.0176	0.000789	1.0044	0	Cumple	Cumple
1	3.85	0.0167	0.00156	0.0270	0.0193	0.0135	0.00674	0.0166	0.001339	1.0076	0	Cumple	Cumple

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

En la tabla anterior se puede apreciar que las condiciones por irregularidad torsional dan menores que 1.2, por lo que, se puede afirmar que cumplen con los parámetros establecidos por la Norma E.030 2018.

Asimismo, luego de haber verificado irregularidades en rigidez y torsional, y habiendo cumplido con los parámetros, indicamos que los valores de irregularidad en altura y planta I_a y I_p son iguales a 1.0, no afectando a los factores de reducción (R), $I_a = 1.0$ y $I_p = 1.0$.

Quedando:

$$R_x = I_a * I_p * R = 1.0 * 1.0 * 8 = 8$$

$$R_y = I_a * I_p * R = 1.0 * 1.0 * 3 = 3$$

k) Verificación de las distorsiones dinámicas

Para determinar las distorsiones dinámicas de entrepiso se creó un combo de distorsiones afectado por los factores de reducción en cada dirección.

Story	Load Case/Combo	Direction	Dist	Label	X m	Y m	Z m
Story2	DistDin Max	X	0.005386	9	24.6	10.08	7.15
Story1	DistDin Max	X	0.004341	46	20.5	7.95	3.85

Ilustración 52. Distorsiones dinámicas de entrepiso

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Como se muestra la tabla anterior se puede apreciar que me aparecen las distorsiones en la dirección X, pero en Y, no me aparecen por lo que son demasiadas pequeñas y el software no las pone visibles.

Tabla 97. Verificación de distorsiones dinámicas

Piso	Altura	Load Case	Distorsiones		Norma E.030 2018		Estado	
			Dx	Dy	Dx<0.007	Dx<0.005	X	Y
2	3.3	Dist din	0.005386	0.00001	0.007	0.005	Cumple	Cumple
1	3.85	Dist din	0.004341	0.00001	0.007	0.005	Cumple	Cumple

Fuente: Etabs 2016

Elaboración: Los autores

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_i)
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Ilustración 53. Límites para la distorsión según Norma E.030 2018

Fuente: Norma E.030 2018

Entonces analizando las distorsiones con los parámetros de la Norma E.030 2018, y concluimos que cumplen con los parámetros establecidos, en la dirección X menores que 0.007 y en Y menores que 0.005.

CAPÍTULO V PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Resultados método Hirosawa dirección X-X

5.1.1. Resultados del cálculo del índice básico de comportamiento Estructural (Eo) en la dirección X-X

Para determinar el índice básico de comportamiento estructural (Eo) depende del índice de resistencia proporcionada por columnas no cortas (Cc) en algunos casos, y por el índice de resistencia proporcionada por muros de albañilería (Cmar) en otros. Además, dependerá también del índice de ductilidad (F) proporcionado por los elementos estructurales del módulo a analizar.

Tabla 98. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas (Cc)
X-X

Módulo	Piso	F'c (kg/cm ²)	Ac1(cm ²)	Ac2(cm ²)	Wj(kg)	Cc
Administración	1°	210.00	18000.00	10750.00	210225.35	1.27
Escalera 01	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
SS.HH 01	2°	210.00	4000.00	7750.00	58621.21	1.69
	1°	210.00	0.00	11750.00	160981.75	0.54
Sum 02	2°	210.00	18600.00	9500.00	163652.70	1.62
	1°	210.00	18600.00	9500.00	411279.50	0.64
Sum 01	2°	210.00	18600.00	9500.00	115998.45	2.29
	1°	210.00	18600.00	9500.00	343254.32	0.77
Escalera 02	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Laboratorio	2°	210.00	18600.00	9500.00	131999.96	2.01
	1°	210.00	18600.00	9500.00	362846.64	0.73
Innovación 01	2°	210.00	18600.00	9500.00	115207.54	2.30
	1°	210.00	18600.00	9500.00	340814.72	0.78
Innovación 02	2°	210.00	18600.00	9500.00	132336.33	2.00
	1°	210.00	18600.00	9500.00	354336.62	0.75
Escalera 03	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Cred	2°	210.00	18600.00	9500.00	115998.45	2.29
	1°	210.00	18600.00	9500.00	343254.32	0.77
Aulas 4,5,6	2°	210.00	30600.00	12000.00	194767.42	2.10
	1°	210.00	30600.00	12000.00	544953.97	0.75
Escalera 04	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Aulas 1,2,3	2°	210.00	30600.00	12000.00	194767.42	2.10

	1°	210.00	30600.00	12000.00	544953.9 7	0.75
Café, Cocina, Tópico	1°	210.00	18600.00	9500.00	153837.2 1	1.72
Vestuarios 01	1°	210.00	0.00	11250.00	137354.4 9	0.60
SS.HH 02	2°	210.00	4000.00	7750.00	61092.68	1.62
	1°	210.00	0.00	11750.00	167804.0 4	0.51
Vestuarios 02	1°	210.00	0.00	11250.00	137354.4 9	0.60

Elaboración: Los autores

Tabla 99. Cálculo del índice de resistencia proporcionada por muros de albañilería (Cmar) X-X

Módulo	Piso	f'm	ΣA_{mar}	τ_0	Wj (kg)	Cmar
Vestuarios 01	1°	65.00	15400.00	8.10	137354.49	0.46
Vestuarios 02	1°	65.00	15400.00	8.10	137354.49	0.46

Elaboración: Los autores

Tabla 100. Cálculo de índice básico de comportamiento estructural (Eo) X-X

Módulo	Piso	α_1	α_3	Cmar	Cc	F	Eo
Administración	1	0.00	1.00	0.00	1.27	1.00	1.27
Escalera 01	2	0.00	1.00	0.00	0.89	1.00	0.67
	1	0.00	1.00	0.00	0.34	1.00	0.34
SS.HH 01	2	0.00	1.00	0.00	1.69	1.00	1.27
	1	0.00	1.00	0.00	0.54	1.00	0.54
Sum 02	2	0.00	1.00	0.00	1.62	1.00	1.22
	1	0.00	1.00	0.00	0.64	1.00	0.64
Sum 01	2	0.00	1.00	0.00	2.29	1.00	1.71
	1	0.00	1.00	0.00	0.77	1.00	0.77
Escalera 02	2	0.00	1.00	0.00	0.89	1.00	0.67
	1	0.00	1.00	0.00	0.34	1.00	0.34
Laboratorio	2	0.00	1.00	0.00	2.01	1.00	1.51
	1	0.00	1.00	0.00	0.73	1.00	0.73
Innovación 01	2	0.00	1.00	0.00	2.30	1.00	1.73
	1	0.00	1.00	0.00	0.78	1.00	0.78
Innovación 02	2	0.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.50
	1	0.00	1.00	0.00	0.75	1.00	0.75
Escalera 03	2	0.00	1.00	0.00	0.89	1.00	0.67
	1	0.00	1.00	0.00	0.34	1.00	0.34
Cred	2	0.00	1.00	0.00	2.29	1.00	1.71

	1	0.00	1.00	0.00	0.77	1.00	0.77
Aulas 4,5,6	2	0.00	1.00	0.00	2.10	1.00	1.58
	1	0.00	1.00	0.00	0.75	1.00	0.75
Escalera 04	2	0.00	1.00	0.00	0.89	1.00	0.67
	1	0.00	1.00	0.00	0.34	1.00	0.34
Aulas 1,2,3	2	0.00	1.00	0.00	2.10	1.00	1.58
	1	0.00	1.00	0.00	0.75	1.00	0.75
Café, Cocina, Tópico	1	0.00	1.00	0.00	1.72	1.00	1.72
Vestuarios 01	1	1.00	1.00	0.46	0.60	1.00	1.07
SS.HH 02	2	0.00	1.00	0.00	1.62	1.00	1.21
	1	0.00	1.00	0.00	0.51	1.00	0.51
Vesturaios 02	1	1.00	1.00	0.46	0.60	1.00	1.07

Elaboración: Los autores

5.1.2. Resultados del cálculo de índice básico de configuración Estructural (SD) en la dirección X-X

Otro de los factores como resultado de este análisis fue el índice básico de configuración estructural, que fue hallado como muestra en la siguiente tabla:

Tabla 101. Cálculo de índice básico de configuración estructural (SD) X-X

Módulo	Piso	Regu- laridad (ai)	Relación Largo - Ancho	Contr acció n de plant a Gi	Junta de dilata ción	Unifor- midad de altura de piso	SD
Admin.	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Esc. 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00

Sum 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Esc. 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Lab.	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Innv. 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Innv 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Esc. 03	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Esc. 04	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Vest. 01	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS.HH 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Vest. 02	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

5.1.3. Resultados del cálculo de índice de deterioro de la edificación (T) en la dirección X-X

El último de los factores como resultado de las visitas a la edificación, la cual se encuentra en buen estado de conservación, es el índice de deterioro cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 102. Cálculo de índice de deterioro de la edificación (t) X-X

Módulo	Piso	T1	T2	T3	T4	T5	T
Administración	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sum 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Laboratorio	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Innovación 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Innovación 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 03	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 04	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 01	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS.HH 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 02	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

5.1.4. Resultados del cálculo de índice de vulnerabilidad estructural (Is) en la dirección X-X

Una vez obtenidos los índices de comportamiento (Eo) y configuración estructural (SD) y el de tiempo de deterioro (T) se muestran los resultados del producto de los tres, traducidos en los resultados del índice de vulnerabilidad estructural (Is), cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 103. Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural (Is) X-X

Módulo	Piso	Eoxx	SDxx	Txx	Isxx
Administración	1°	1.27	1.00	1.00	1.27
Escalera 01	2°	0.67	1.00	1.00	0.67
	1°	0.34	1.00	1.00	0.34
SS.HH 01	2°	1.27	1.00	1.00	1.27
	1°	0.54	1.00	1.00	0.54
Sum 02	2°	1.22	1.00	1.00	1.22
	1°	0.64	1.00	1.00	0.64
Sum 01	2°	1.71	1.00	1.00	1.71
	1°	0.77	1.00	1.00	0.77
Escalera 02	2°	0.67	1.00	1.00	0.67
	1°	0.34	1.00	1.00	0.34
Laboratorio	2°	1.51	1.00	1.00	1.51
	1°	0.73	1.00	1.00	0.73
Innovación 01	2°	1.73	1.00	1.00	1.73
	1°	0.78	1.00	1.00	0.78
Innovación 02	2°	1.50	1.00	1.00	1.50
	1°	0.75	1.00	1.00	0.75
Escalera 03	2°	0.67	1.00	1.00	0.67
	1°	0.34	1.00	1.00	0.34
Cred	2°	1.71	1.00	1.00	1.71
	1°	0.77	1.00	1.00	0.77
Aulas 4,5,6	2°	1.58	1.00	1.00	1.58
	1°	0.75	1.00	1.00	0.75
Escalera 04	2°	0.67	1.00	1.00	0.67
	1°	0.34	1.00	1.00	0.34
Aulas 1,2,3	2°	1.58	1.00	1.00	1.58
	1°	0.75	1.00	1.00	0.75
Café, Cocina, Tópico	1°	1.72	1.00	1.00	1.72
Vestuarios 01	1°	1.07	1.00	1.00	1.07

SS.HH 02	2°	1.21	0.90	1.00	1.09
	1°	0.51	0.90	1.00	0.46
Vestuarios 02	1°	1.07	1.00	1.00	1.07

Elaboración: Los autores

5.1.5. Resultados de la comparación entre el índice de vulnerabilidad estructural (Is) y el índice de demanda sísmica (Iso) en la dirección X.X

Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad estructural (Is) y el índice de demanda sísmica (Iso) se procede a hacer una comparación entre ambos, llegando a la conclusión de que, si el índice de vulnerabilidad estructural (Is) es mayor al índice de demanda sísmica (Iso) la edificación resultará segura o no vulnerable.

En cambio, si resultado de la comparación se sabe que el índice de vulnerabilidad estructural (Is) es menor al índice de demanda sísmica (Iso) la edificación será vulnerable ante un sismo.

Los resultados del análisis en la dirección X-X de los módulos de la Institución educativa Elvira García y García se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 104. Comparación entre los índices de vulnerabilidad estructural (is) y de demanda sísmica (Iso) X-X

Módulo	Piso	Isxx	Isoxx	Estado del Módulo
Administración	1°	1.27	0.41	SEGURO
Escalera 01	2°	0.67	0.41	SEGURO
	1°	0.34	0.41	INSEGURO
SS.HH 01	2°	1.27	0.41	SEGURO
	1°	0.54	0.41	SEGURO
Sum 02	2°	1.22	0.41	SEGURO
	1°	0.64	0.41	SEGURO
Sum 01	2°	1.71	0.41	SEGURO

	1°	0.77	0.41	SEGURO
Escalera 02	2°	0.67	0.41	SEGURO
	1°	0.34	0.41	INSEGURO
Laboratorio	2°	1.51	0.41	SEGURO
	1°	0.73	0.41	SEGURO
Innovación 01	2°	1.73	0.41	SEGURO
	1°	0.78	0.41	SEGURO
Innovación 02	2°	1.50	0.41	SEGURO
	1°	0.75	0.41	SEGURO
Escalera 03	2°	0.67	0.41	SEGURO
	1°	0.34	0.41	INSEGURO
Cred	2°	1.71	0.41	SEGURO
	1°	0.77	0.41	SEGURO
Aulas 4,5,6	2°	1.58	0.41	SEGURO
	1°	0.75	0.41	SEGURO
Escalera 04	2°	0.67	0.41	SEGURO
	1°	0.34	0.41	INSEGURO
Aulas 1,2,3	2°	1.58	0.41	SEGURO
	1°	0.75	0.41	SEGURO
Café, Cocina, Tópico	1°	1.72	0.41	SEGURO
Vestuarios 01	1°	1.07	0.41	SEGURO
SS.HH 02	2°	1.09	0.41	SEGURO
	1°	0.46	0.41	SEGURO
Vestuarios 02	1°	1.07	0.41	SEGURO

Elaboración: Los autores

5.2. Resultados método Hirosawa dirección Y-Y

5.2.1. Resultados del cálculo del índice básico de comportamiento Estructural (Eo) en la dirección Y-Y

Para determinar el índice básico de comportamiento estructural (Eo) depende del índice de resistencia proporcionada por columnas no cortas (Cc) en algunos casos, y por el índice de resistencia proporcionada por muros de albañilería (Cmar) en otros.

Sin embargo, dependerá también del índice de ductilidad (F) proporcionado por los elementos estructurales del módulo a analizar.

Tabla 105. Cálculo de índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas (Cc)
Y-Y

Módulo	Piso	f'c (kg/cm2)	Ac1(cm2)	Ac2(cm2)	Wj(kg)	Cc
Administrac.	1°	210.00	0.00	28750.00	210225.35	1.01
Escalera 01	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
SS.HH 01	2°	210.00	0.00	10350.00	58621.21	1.30
	1°	210.00	0.00	10350.00	160981.75	0.47
Sum 02	2°	210.00	18600.00	9500.00	128317.27	2.07
	1°	210.00	18600.00	9500.00	350491.04	0.76
Sum 01	2°	210.00	18600.00	9500.00	115998.45	2.29
	1°	210.00	18600.00	9500.00	343254.32	0.77
Escalera 02	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Laboratorio	2°	210.00	18600.00	9500.00	115998.45	2.29
	1°	210.00	18600.00	9500.00	343254.32	0.77
Innovación 01	2°	210.00	18600.00	9500.00	115207.54	2.30
	1°	210.00	18600.00	9500.00	340814.72	0.78
Innovación 02	2°	210.00	18600.00	9500.00	132336.33	2.00
	1°	210.00	18600.00	9500.00	354336.62	0.75
Escalera 03	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Cred	2°	210.00	18600.00	9500.00	115998.45	2.29
	1°	210.00	18600.00	9500.00	343254.32	0.77
Aulas 4,5,6	2°	210.00	0.00	42600.00	194767.42	1.61
	1°	210.00	0.00	42600.00	544953.97	0.57
Escalera 04	2°	210.00	0.00	5250.00	43374.40	0.89
	1°	210.00	0.00	5250.00	112337.20	0.34
Aulas 1,2,3	2°	210.00	0.00	42600.00	194767.42	1.61
	1°	210.00	0.00	42600.00	544953.97	0.57
Café, Cocina, Tópico	1°	210.00	18600.00	8250.00	153837.21	1.66
Vestuarios 01	1°	210.00	0.00	10000.00	137354.49	0.54
SS.HH 02	2°	210.00	2600.00	7750.00	61092.68	1.38
	1°	210.00	0.00	10350.00	167804.04	0.45
Vestuarios 02	1°	210.00	0.00	10000.00	137354.49	0.54

Elaboración: Los autores

Tabla 106. Cálculo de índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería (Cmar) Y-Y

Módulo	Piso	f'm	Σ Amar	τ_0	Wj (kg)	Cmar
Administración	1°	65.00	35750.00	8.10	210225.35	0.70
Escalera 01	2°	65.00	26250.00	8.10	43374.40	2.50
	1°	65.00	26250.00	8.10	112337.20	0.97
SS.HH 01	2°	65.00	33800.00	8.10	58621.21	2.38
	1°	65.00	33800.00	8.10	160981.75	0.87
Sum 02	2°	65.00	39750.00	8.10	128317.27	1.28
	1°	65.00	39750.00	8.10	350491.04	0.47
Sum 01	2°	65.00	39800.00	8.10	115998.45	1.42
	1°	65.00	39800.00	8.10	343254.32	0.48
Escalera 02	2°	65.00	26250.00	8.10	43374.40	2.50
	1°	65.00	26250.00	8.10	112337.20	0.97
Laboratorio	2°	65.00	39800.00	8.10	115998.45	1.42
	1°	65.00	39800.00	8.10	343254.32	0.48
Innovación 01	2°	65.00	39750.00	8.10	115207.54	1.43
	1°	65.00	39750.00	8.10	340814.72	0.48
Innovación 02	2°	65.00	39750.00	8.10	132336.33	1.24
	1°	65.00	39750.00	8.10	354336.62	0.46
Escalera 03	2°	65.00	26250.00	8.10	43374.40	2.50
	1°	65.00	26250.00	8.10	112337.20	0.97
Cred	2°	65.00	39800.00	8.10	115998.45	1.42
	1°	65.00	39800.00	8.10	343254.32	0.48
Aulas 4,5,6	2°	65.00	79500.00	8.10	194767.42	1.69
	1°	65.00	79500.00	8.10	544953.97	0.60
Escalera 04	2°	65.00	26250.00	8.10	43374.40	2.50
	1°	65.00	26250.00	8.10	112337.20	0.97
Aulas 1,2,3	2°	65.00	79500.00	8.10	194767.42	1.69
	1°	65.00	79500.00	8.10	544953.97	0.60
Café, Cocina, Tópico	1°	65.00	39450.00	8.10	153837.21	1.06
Vesturaios 01	1°	65.00		8.10	137354.49	
SS.HH 02	2°	65.00	33800.00	8.10	61092.68	2.29
	1°	65.00	33800.00	8.10	167804.04	0.83
Vesturaios 02	1°	65.00		8.10	137354.49	

Elaboración: Los autores

Tabla 107. Cálculo de índice de comportamiento estructural (Eo) Y-Y

Módulo	Piso	α_1	α_3	Cmar	Cc	F	Eo
Administración	1	1.00	1.00	0.70	1.01	1.00	1.71
Escalera 01	2	1.00	1.00	2.50	0.89	1.00	2.54

	1	1.00	1.00	0.97	0.34	1.00	1.31
SS.HH 01	2	1.00	1.00	2.38	1.30	1.00	2.76
	1	1.00	1.00	0.87	0.47	1.00	1.34
Sum 02	2	1.00	1.00	1.28	2.07	1.00	2.51
	1	1.00	1.00	0.47	0.76	1.00	1.22
Sum 01	2	1.00	1.00	1.42	2.29	1.00	2.78
	1	1.00	1.00	0.48	0.77	1.00	1.25
Escalera 02	2	1.00	1.00	2.50	0.89	1.00	2.54
	1	1.00	1.00	0.97	0.34	1.00	1.31
Laboratorio	2	1.00	1.00	1.42	2.29	1.00	2.78
	1	1.00	1.00	0.48	0.77	1.00	1.25
Innovación 01	2	1.00	1.00	1.43	2.30	1.00	2.79
	1	1.00	1.00	0.48	0.78	1.00	1.26
Innovación 02	2	1.00	1.00	1.24	2.00	1.00	2.43
	1	1.00	1.00	0.46	0.75	1.00	1.21
Escalera 03	2	1.00	1.00	2.50	0.89	1.00	2.54
	1	1.00	1.00	0.97	0.34	1.00	1.31
Cred	2	1.00	1.00	1.42	2.29	1.00	2.78
	1	1.00	1.00	0.48	0.77	1.00	1.25
Aulas 4,5,6	2	1.00	1.00	1.69	1.61	1.00	2.47
	1	1.00	1.00	0.60	0.57	1.00	1.18
Escalera 04	2	1.00	1.00	2.50	0.89	1.00	2.54
	1	1.00	1.00	0.97	0.34	1.00	1.31
Aulas 1,2,3	2	1.00	1.00	1.69	1.61	1.00	2.47
	1	1.00	1.00	0.60	0.57	1.00	1.18
Café, Cocina, Tópico	1	1.00	1.00	1.06	1.66	1.00	2.72
Vesturaios 01	1	1.00	1.00		0.54	1.00	0.54
SS.HH 02	2	1.00	1.00	2.29	1.38	1.00	2.75
	1	1.00	1.00	0.83	0.45	1.00	1.29
Vesturaios 02	1	1.00	1.00		0.54	1.00	0.54

Elaboración: Los autores

5.2.2. Resultados del cálculo de índice básico de configuración Estructural (SD) en la dirección Y-Y

Otro de los factores como resultado de este análisis fue el índice básico de configuración estructural, que fue hallado como muestra en la siguiente tabla:

Tabla 108. Cálculo de índice básico de configuración estructural (SD) Y-Y

Módulo	Piso	Regu- laridad ai	Relación Largo - Ancho	Contra- ción de planta	Junta de dilata- ción	Unifor- midad de altura de piso	SD
Gi							
Administración	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Escalera 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Sum 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Escalera 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Laboratorio	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Innovación 01	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Innovación 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Escalera 03	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Escalera 04	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 01	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS.HH 02	2°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 02	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

5.2.3. Resultados del cálculo de índice de deterioro de la edificación (T) en la dirección X-X

El último de los factores como resultado de las visitas a la edificación, la cual se encuentra en buen estado de conservación, es el índice de deterioro cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 109. Cálculo de índice de deterioro de la edificación (T) Y-Y

Módulo	Piso	T1	T2	T3	T4	T5	T
Administración	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sum 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Laboratorio	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Innovación 01	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Innovación 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 03	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escalera 04	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 01	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

SS.HH 02	2°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vestuarios 02	1°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

5.2.4. Resultados del cálculo de índice de vulnerabilidad estructural (Is) en la dirección Y-Y

Una vez obtenidos los índices de comportamiento (Eo) y configuración estructural (SD) y el de tiempo de deterioro (T) se muestran los resultados del producto de los tres, traducidos en los resultados del índice de vulnerabilidad estructural (Is), cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 110. Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural (Is) Y-Y

Módulo	Piso	Eoyy	SDyy	Tyy	Isyy
Administración	1°	1.71	1.00	1.00	1.71
Escalera 01	2°	2.54	1.00	1.00	2.54
	1°	1.31	1.00	1.00	1.31
SS.HH 01	2°	2.76	1.00	1.00	2.76
	1°	1.34	1.00	1.00	1.34
Sum 02	2°	2.51	1.00	1.00	2.51
	1°	1.22	1.00	1.00	1.22
Sum 01	2°	2.78	1.00	1.00	2.78
	1°	1.25	1.00	1.00	1.25
Escalera 02	2°	2.54	1.00	1.00	2.54
	1°	1.31	1.00	1.00	1.31
Laboratorio	2°	2.78	1.00	1.00	2.78
	1°	1.25	1.00	1.00	1.25
Innovación 01	2°	2.79	1.00	1.00	2.79
	1°	1.26	1.00	1.00	1.26
Innovación 02	2°	2.43	1.00	1.00	2.43
	1°	1.21	1.00	1.00	1.21
Escalera 03	2°	2.54	1.00	1.00	2.54
	1°	1.31	1.00	1.00	1.31
Cred	2°	2.78	1.00	1.00	2.78
	1°	1.25	1.00	1.00	1.25
Aulas 4,5,6	2°	2.47	1.00	1.00	2.47
	1°	1.18	1.00	1.00	1.18

Escalera 04	2°	2.54	1.00	1.00	2.54
	1°	1.31	1.00	1.00	1.31
Aulas 1,2,3	2°	2.47	1.00	1.00	2.47
	1°	1.18	1.00	1.00	1.18
Café, Cocina, Tópico	1°	2.72	1.00	1.00	2.72
Vesturarios 01	1°	0.54	1.00	1.00	0.54
SS.HH 02	2°	2.75	0.90	1.00	2.47
	1°	1.29	0.90	1.00	1.16
Vesturarios 02	1°	0.54	1.00	1.00	0.54

Elaboración: Los autores

5.2.5. Resultados de la comparación entre el índice de vulnerabilidad estructural (Is) y el índice de demanda sísmica (Iso) en la dirección Y-Y

Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad estructural (Is) y el índice de demanda sísmica (Iso) se procede a hacer una comparación entre ambos, llegando a la conclusión de que, si el índice de vulnerabilidad estructural (Is) es mayor al índice de demanda sísmica (Iso) la edificación resultará segura o no vulnerable.

En cambio, si resultado de la comparación se sabe que el índice de vulnerabilidad estructural (Is) es menor al índice de demanda sísmica (Iso) la edificación será vulnerable ante un sismo.

Los resultados del análisis en la dirección Y-Y de los 18 módulos de la Institución educativa Elvira García y García se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 111. Comparación entre los índices de vulnerabilidad estructural (is) y de demanda sísmica (Iso) Y-Y

Módulo	Piso	Isyy	Isyy	Estado del Módulo
Administración	1°	1.71	1.10	SEGURO

Escalera 01	2°	2.54	1.10	SEGURO
	1°	1.31	1.10	SEGURO
SS.HH 01	2°	2.76	1.10	SEGURO
	1°	1.34	1.10	SEGURO
Sum 02	2°	2.51	1.10	SEGURO
	1°	1.22	1.10	SEGURO
Sum 01	2°	2.78	1.10	SEGURO
	1°	1.25	1.10	SEGURO
Escalera 02	2°	2.54	1.10	SEGURO
	1°	1.31	1.10	SEGURO
Laboratorio	2°	2.78	1.10	SEGURO
	1°	1.25	1.10	SEGURO
Innovación 01	2°	2.79	1.10	SEGURO
	1°	1.26	1.10	SEGURO
Innovación 02	2°	2.43	1.10	SEGURO
	1°	1.21	1.10	SEGURO
Escalera 03	2°	2.54	1.10	SEGURO
	1°	1.31	1.10	SEGURO
Cred	2°	2.78	1.10	SEGURO
	1°	1.25	1.10	SEGURO
Aulas 4,5,6	2°	2.47	1.10	SEGURO
	1°	1.18	1.10	SEGURO
Escalera 04	2°	2.54	1.10	SEGURO
	1°	1.31	1.10	SEGURO
Aulas 1,2,3	2°	2.47	1.10	SEGURO
	1°	1.18	1.10	SEGURO
Café, Cocina, Tópico	1°	2.72	1.10	SEGURO
Vestuarios 01	1°	0.54	0.41	SEGURO
SS.HH 02	2°	2.47	1.10	SEGURO
	1°	1.16	1.10	SEGURO
Vestuarios 02	1°	0.54	0.41	SEGURO

Elaboración: Los autores

5.3. Resultados de modelamiento en Software Etabs 2016 v2016.2.1

5.3.1. Resultados del espectro de Pseudoaceleraciones (Sa)

Para la determinación de este factor, se tuvieron en cuenta los períodos (T) obtenido resultado del modelamiento en el software, el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R), el factor de zonificación (Z), el factor de suelo (S), el factor de importancia (U), los parámetros de vibración del suelo (Tp), factor de amplificación del suelo (C) y el factor relacionado con el período de vibración (K), los cuales se muestran a continuación:

Tabla 112. Análisis estático o fuerzas equivalentes

MÓDULO	EJE	R	Z	S	U	Tp	TI	T	C	K	Sa
Adm	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.172	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.152	2.5	1	0.619
Escalera01	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.342	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.074	2.5	1	0.619
SSHH01	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.37	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.091	2.5	1	0.619
Sum02	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.284	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.113	2.5	1	0.619
Sum01	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.275	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.129	2.5	1	0.619
Escalera02	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.342	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.074	2.5	1	0.619
Laboratorio	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.288	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.126	2.5	1	0.619
Innov01	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.274	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.125	2.5	1	0.619
Innov02	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.287	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.126	2.5	1	0.619

Escalera03	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.37	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.091	2.5	1	0.619
Cred	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.275	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.129	2.5	1	0.619
Aulas4,5,6	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.274	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.116	2.5	1	0.619
Escalera04	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.342	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.074	2.5	1	0.619
Aulas1,2,3	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.274	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.116	2.5	1	0.619
Cafetín	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.161	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.064	2.5	1	0.619
Vestuario01	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.127	2.5	1	0.232
	Y	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.456	2.5	1	0.232
SSHH02	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.374	2.5	1	0.232
	Y	3	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.115	2.5	1	0.619
Vestuario02	X	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.127	2.5	1	0.232
	Y	8	0.45	1.1	1.5	1	1.6	0.456	2.5	1	0.232

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

5.3.2. Verificación de excentricidad accidental

Para la verificación de ésta condición la Norma E.030 2018 señala que las excentricidades en cada dirección analizada deben ser menores que el 5% de la longitud perpendicular. Para determinar la excentricidad hay que tener en cuenta el centro de masa y rigidez de cada piso, y los resultados se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 113. Verificación de Excentricidad entre Centro de Masa y Centro de Rigidez

Módulo	Piso	Xccm	Yccm	Xcr	Ycr	Lxx	Ly	exxc	eyyc	exxc	eyyc	NORMA E.030 2018	
		m	m	m	m	m	m	m	m	$\leq 0.05 \cdot Ly$	$\leq 0.05 \cdot Lx$	exxc	eyyc
Administ.	1	9.60	4.48	9.60	3.59	19.20	9.27	0.00	0.89	0.46	0.96	OK	OK
Escalera01	2	2.18	3.31	2.15	3.27	4.35	7.38	0.03	0.04	0.37	0.22	OK	OK
	1	2.20	3.64	2.13	3.41	4.35	7.38	0.06	0.24	0.37	0.22	OK	No
SSHH01	2	4.01	3.97	3.88	3.40	7.76	8.88	0.13	0.57	0.44	0.39	OK	No
	1	4.01	3.96	3.88	3.39	7.76	8.88	0.13	0.57	0.44	0.39	OK	No
Sum02	2	8.21	4.78	8.21	4.01	16.42	10.07	0.00	0.77	0.50	0.82	OK	OK
	1	8.07	4.81	8.21	3.98	16.42	10.07	0.14	0.83	0.50	0.82	OK	No
Sum01	2	8.20	4.76	8.20	4.01	16.40	10.09	0.00	0.75	0.50	0.82	OK	OK
	1	8.20	4.80	8.20	3.99	16.40	10.09	0.00	0.81	0.50	0.82	OK	OK
Escalera02	2	2.18	3.31	2.15	3.27	4.35	7.38	0.03	0.04	0.37	0.22	OK	OK
	1	2.20	3.64	2.13	3.41	4.35	7.38	0.06	0.24	0.37	0.22	OK	No
Laboratorio	2	8.20	4.77	8.20	4.01	16.40	10.09	0.00	0.76	0.50	0.82	OK	OK
	1	8.20	4.80	8.20	3.99	16.40	10.09	0.00	0.81	0.50	0.82	OK	OK
Innov01	2	8.12	4.75	8.13	4.01	16.27	10.07	0.01	0.74	0.50	0.81	OK	OK
	1	8.13	4.79	8.13	3.98	16.27	10.07	0.00	0.81	0.50	0.81	OK	OK
Innov02	2	8.20	4.78	8.20	4.01	16.40	10.07	0.00	0.78	0.50	0.82	OK	OK

	1	8.06	4.81	8.20	3.98	16.40	10.07	0.14	0.83	0.50	0.82	OK	No
Escalera03	2	2.18	3.31	2.15	3.27	4.35	7.38	0.03	0.04	0.37	0.22	OK	OK
	1	2.20	3.64	2.13	3.41	4.35	7.38	0.06	0.24	0.37	0.22	OK	No
Cred	2	8.20	4.76	8.20	4.01	16.40	10.09	0.00	0.75	0.50	0.82	OK	OK
	1	8.20	4.80	8.20	3.99	16.40	10.09	0.00	0.81	0.50	0.82	OK	OK
Aulas4,5,6	2	12.30	4.77	12.30	4.01	24.60	10.08	0.00	0.76	0.50	1.23	OK	OK
	1	12.30	4.77	12.30	3.99	24.60	10.08	0.00	0.79	0.50	1.23	OK	OK
Escalera04	2	2.18	3.31	2.15	3.27	4.35	7.38	0.03	0.04	0.37	0.22	OK	OK
	1	2.20	3.64	2.13	3.41	4.35	7.38	0.06	0.24	0.37	0.22	OK	No
Aulas1,2,3	2	12.30	4.77	12.30	4.01	24.60	10.08	0.00	0.76	0.50	1.23	OK	OK
	1	12.30	4.77	12.30	3.99	24.60	10.08	0.00	0.79	0.50	1.23	OK	OK
Cafetin	1	8.76	4.80	8.72	4.57	17.57	9.74	0.05	0.23	0.49	0.88	OK	OK
Vestuario01	1	5.23	7.36	4.83	7.35	10.30	14.73	0.40	0.01	0.74	0.52	OK	OK
SSH02	2	3.88	4.13	3.88	3.41	7.76	8.88	0.00	0.72	0.44	0.39	OK	No
	1	3.88	4.12	3.88	3.39	7.76	8.88	0.00	0.73	0.44	0.39	OK	No
Vestuario02	1	5.23	7.36	4.83	7.35	10.30	14.73	0.40	0.01	0.74	0.52	OK	OK

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

5.3.3. Verificación de irregularidad

Se analizaron las distorsiones en las cuatro esquinas de cada módulo como se muestra en la siguiente tabla: Verificación de Irregularidades en Planta y Altura.

Tabla 114. Distorsiones en cada esquina

Módulo	Piso	Altura	Distorsiones en esquinas							
			1		2		3		4	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Administ.	1	3.85	0.0026	0.0001	0.0027	0.0001	0.0026	0.0001	0.0027	0.0001
Escalera01	2	3.3	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004
	1	3.85	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004
SSH01	2	3.3	0.0074	0.0001	0.0075	0.0001	0.0074	0.0001	0.0075	0.0001
	1	3.85	0.0091	0.0001	0.0093	0.0001	0.0091	0.0001	0.0093	0.0001
Sum02	2	3.3	0.0056	0.0007	0.0056	0.0007	0.0056	0.0007	0.0056	0.0007
	1	3.85	0.0046	0.0010	0.0047	0.0010	0.0046	0.0010	0.0047	0.0010
Sum01	2	3.3	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006
	1	3.85	0.0045	0.0009	0.0046	0.0009	0.0045	0.0009	0.0046	0.0009
Escalera02	2	3.3	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004
	1	3.85	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004

Laboratorio	2	3.3	0.0057	0.0007	0.0058	0.0007	0.0057	0.0007	0.0058	0.0007
	1	3.85	0.0048	0.0010	0.0049	0.0010	0.0048	0.0010	0.0049	0.0010
Innov01	2	3.3	0.0052	0.0006	0.0053	0.0006	0.0052	0.0006	0.0053	0.0006
	1	3.85	0.0044	0.0009	0.0045	0.0009	0.0044	0.0009	0.0045	0.0009
Innov02	2	3.3	0.0057	0.0007	0.0057	0.0007	0.0057	0.0007	0.0057	0.0007
	1	3.85	0.0047	0.0010	0.0048	0.0010	0.0047	0.0010	0.0048	0.0010
Escalera03	2	3.3	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004
	1	3.85	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004
Cred	2	3.3	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006	0.0053	0.0006
	1	3.85	0.0045	0.0009	0.0046	0.0009	0.0045	0.0009	0.0046	0.0009
Aulas4,5,6	2	3.3	0.0053	0.0003	0.0054	0.0003	0.0053	0.0003	0.0054	0.0003
	1	3.85	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004
Escalera04	2	3.3	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004	0.0117	0.0004
	1	3.85	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004	0.0034	0.0004
Aulas1,2,3	2	3.3	0.0053	0.0003	0.0054	0.0003	0.0053	0.0003	0.0054	0.0003
	1	3.85	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004	0.0043	0.0004
Cafetín	1	3.85	0.0023	0.0000	0.0024	0.0000	0.0023	0.0000	0.0024	0.0000
Vestuario01	1	3.85	0.0013	0.0151	0.0013	0.0152	0.0013	0.0151	0.0013	0.0152
SSHH02	2	3.3	0.0075	0.0001	0.0076	0.0001	0.0075	0.0001	0.0076	0.0001
	1	3.85	0.0093	0.0002	0.0095	0.0002	0.0093	0.0002	0.0095	0.0002
Vestuario02	1	3.85	0.0013	0.0151	0.0013	0.0152	0.0013	0.0151	0.0013	0.0152

Se analizaron los desplazamientos relativos en las cuatro esquinas de cada módulo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 115. Desplazamientos relativos de cada módulo

Módulo	Piso	Altura	Desplazamientos relativos							
			1		2		3		4	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Administ.	1	3.85	0.01013	0.00035	0.01030	0.00035	0.01013	0.00035	0.01030	0.00035
Escalera01	2	3.3	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134
	1	3.85	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140
SSHH01	2	3.3	0.02432	0.00032	0.02463	0.00032	0.02432	0.00032	0.02463	0.00032
	1	3.85	0.03516	0.00053	0.03569	0.00053	0.03516	0.00053	0.03569	0.00053
Sum02	2	3.3	0.01838	0.00223	0.01858	0.00223	0.01838	0.00223	0.01858	0.00223
	1	3.85	0.01782	0.00387	0.01815	0.00387	0.01782	0.00387	0.01815	0.00387
Sum01	2	3.3	0.01734	0.00197	0.01753	0.00197	0.01734	0.00197	0.01753	0.00197
	1	3.85	0.01723	0.00351	0.01755	0.00351	0.01723	0.00351	0.01755	0.00351
Escalera02	2	3.3	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134
	1	3.85	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140
Laboratorio	2	3.3	0.01892	0.00220	0.01912	0.00220	0.01892	0.00220	0.01912	0.00220

	1	3.85	0.01841	0.00373	0.01875	0.00373	0.01841	0.00373	0.01875	0.00373
Innov01	2	3.3	0.01716	0.00197	0.01734	0.00197	0.01716	0.00197	0.01734	0.00197
	1	3.85	0.01707	0.00351	0.01739	0.00351	0.01707	0.00351	0.01739	0.00351
Innov02	2	3.3	0.01867	0.00223	0.01888	0.00223	0.01867	0.00223	0.01888	0.00223
	1	3.85	0.01804	0.00373	0.01838	0.00373	0.01804	0.00373	0.01838	0.00373
Escalera03	2	3.3	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134
	1	3.85	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140
Cred	2	3.3	0.01734	0.00197	0.01753	0.00197	0.01734	0.00197	0.01753	0.00197
	1	3.85	0.01723	0.00351	0.01755	0.00351	0.01723	0.00351	0.01755	0.00351
Aulas4,5,6	2	3.3	0.01760	0.00092	0.01772	0.00092	0.01760	0.00092	0.01772	0.00092
	1	3.85	0.01651	0.00156	0.01671	0.00156	0.01651	0.00156	0.01671	0.00156
Escalera04	2	3.3	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134	0.03846	0.00134	0.03863	0.00134
	1	3.85	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140	0.01311	0.00140	0.01293	0.00140
Aulas1,2,3	2	3.3	0.01760	0.00092	0.01772	0.00092	0.01760	0.00092	0.01772	0.00092
	1	3.85	0.01651	0.00156	0.01671	0.00156	0.01651	0.00156	0.01671	0.00156
Cafetín	1	3.85	0.00901	0.00014	0.00905	0.00014	0.00901	0.00014	0.00905	0.00014
Vestuario01	1	3.85	0.00516	0.05808	0.00516	0.05847	0.00488	0.05808	0.00488	0.05847
SSH02	2	3.3	0.02477	0.00049	0.02518	0.00049	0.02477	0.00049	0.02518	0.00049
	1	3.85	0.03594	0.00071	0.03664	0.00071	0.03594	0.00071	0.03664	0.00071
Vestuario02	1	3.85	0.00516	0.05808	0.00516	0.05847	0.00488	0.05808	0.00488	0.05847

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

Se analizaron los desplazamientos absolutos en las cuatro esquinas de cada módulo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 116. Desplazamientos absolutos

Módulo	Piso	Altura	Desplazamientos absolutos							
			1		2		3		4	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Administ.	1	3.85	0.0101	0.0003	0.0103	0.0003	0.0101	0.0003	0.0103	0.0003
Escalera01	2	3.3	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014
SSHH01	2	3.3	0.0595	0.0009	0.0603	0.0009	0.0595	0.0009	0.0603	0.0009
	1	3.85	0.0352	0.0005	0.0357	0.0005	0.0352	0.0005	0.0357	0.0005
Sum02	2	3.3	0.0362	0.0061	0.0367	0.0061	0.0362	0.0061	0.0367	0.0061
	1	3.85	0.0178	0.0039	0.0182	0.0039	0.0178	0.0039	0.0182	0.0039
Sum01	2	3.3	0.0346	0.0055	0.0351	0.0055	0.0346	0.0055	0.0351	0.0055
	1	3.85	0.0172	0.0035	0.0176	0.0035	0.0172	0.0035	0.0176	0.0035
Escalera02	2	3.3	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014
Laboratorio	2	3.3	0.0373	0.0059	0.0379	0.0059	0.0373	0.0059	0.0379	0.0059
	1	3.85	0.0184	0.0037	0.0187	0.0037	0.0184	0.0037	0.0187	0.0037
Innov01	2	3.3	0.0342	0.0055	0.0347	0.0055	0.0342	0.0055	0.0347	0.0055
	1	3.85	0.0171	0.0035	0.0174	0.0035	0.0171	0.0035	0.0174	0.0035
Innov02	2	3.3	0.0367	0.0060	0.0373	0.0060	0.0367	0.0060	0.0373	0.0060

	1	3.85	0.0180	0.0037	0.0184	0.0037	0.0180	0.0037	0.0184	0.0037
Escalera03	2	3.3	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014
Cred	2	3.3	0.0346	0.0055	0.0351	0.0055	0.0346	0.0055	0.0351	0.0055
	1	3.85	0.0172	0.0035	0.0176	0.0035	0.0172	0.0035	0.0176	0.0035
Aulas4,5,6	2	3.3	0.0341	0.0025	0.0344	0.0025	0.0341	0.0025	0.0344	0.0025
	1	3.85	0.0165	0.0016	0.0167	0.0016	0.0165	0.0016	0.0167	0.0016
Escalera04	2	3.3	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027	0.0516	0.0027
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014	0.0131	0.0014	0.0129	0.0014
Aulas1,2,3	2	3.3	0.0341	0.0025	0.0344	0.0025	0.0341	0.0025	0.0344	0.0025
	1	3.85	0.0165	0.0016	0.0167	0.0016	0.0165	0.0016	0.0167	0.0016
Cafetín	1	3.85	0.0090	0.0001	0.0091	0.0001	0.0090	0.0001	0.0091	0.0001
Vestuario01	1	3.85	0.0052	0.0581	0.0052	0.0585	0.0049	0.0581	0.0049	0.0585
SSH02	2	3.3	0.0607	0.0012	0.0618	0.0012	0.0607	0.0012	0.0618	0.0012
	1	3.85	0.0359	0.0007	0.0366	0.0007	0.0359	0.0007	0.0366	0.0007
Vestuario02	1	3.85	0.0052	0.0581	0.0052	0.0585	0.0049	0.0581	0.0049	0.0585

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

Se obtienen los resultados del desplazamiento en el centro de masa de la estructura por el Caso de carga Distorsión dinámica (Dist din), tal y como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 117. Desplazamientos en el centro de masa

Módulo	Piso	Altura	Load Case	UY	UY
Administ.	1	3.85	Dist din	0.0102	0.0001
Escalera01	2	3.3	Dist din	0.0503	0.0025
	1	3.85	Dist din	0.0128	0.0013
SSHH01	2	3.3	Dist din	0.0596	0.0014
	1	3.85	Dist din	0.0353	0.0008
Sum02	2	3.3	Dist din	0.0363	0.0055
	1	3.85	Dist din	0.0179	0.0035
Sum01	2	3.3	Dist din	0.0348	0.0050
	1	3.85	Dist din	0.0173	0.0032
Escalera02	2	3.3	Dist din	0.0503	0.0025
	1	3.85	Dist din	0.0128	0.0013
Laboratorio	2	3.3	Dist din	0.0375	0.0054
	1	3.85	Dist din	0.0185	0.0034
Innov01	2	3.3	Dist din	0.0344	0.0050
	1	3.85	Dist din	0.0172	0.0032
Innov02	2	3.3	Dist din	0.0369	0.0054
	1	3.85	Dist din	0.0182	0.0034
Escalera03	2	3.3	Dist din	0.0503	0.0025
	1	3.85	Dist din	0.0128	0.0013
Cred	2	3.3	Dist din	0.0348	0.0050
	1	3.85	Dist din	0.0173	0.0032
Aulas4,5,6	2	3.3	Dist din	0.0342	0.0021
	1	3.85	Dist din	0.0166	0.0013
Escalera04	2	3.3	Dist din	0.0503	0.0025
	1	3.85	Dist din	0.0128	0.0013
Aulas1,2,3	2	3.3	Dist din	0.0342	0.0021
	1	3.85	Dist din	0.0166	0.0013
Cafetín	1	3.85	Dist din	0.0090	0.0000
Vestuario01	1	3.85	Dist din	0.0047	0.0581
SSHH02	2	3.3	Dist din	0.0610	0.0011
	1	3.85	Dist din	0.0362	0.0007
Vestuario02	1	3.85	Dist din	0.0047	0.0581

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

Resultados obtenidos del software etabs, desplazamientos en el centro de masa, con el sismo dinámico en cada dirección de análisis, expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 118. Desplazamientos en el centro de masa con el sismo dinámico

Módulo	Piso	Altura	SXXDIN		SYDIN	
			UX	UY	UY	UY
Administ.	1	3.85	0.01021	0.00006	0.00000	0.00002
Escalera01	2	3.3	0.00838	0.00004	0.00004	0.00110
	1	3.85	0.00214	0.00003	0.00012	0.00057
SSHH01	2	3.3	0.00993	0.00001	0.00002	0.00061
	1	3.85	0.00589	0.00000	0.00002	0.00037
Sum02	2	3.3	0.00605	0.00000	0.00003	0.00243
	1	3.85	0.00299	0.00000	0.00002	0.00155
Sum01	2	3.3	0.00579	0.00000	0.00002	0.00222
	1	3.85	0.00289	0.00000	0.00002	0.00142
Escalera02	2	3.3	0.00838	0.00004	0.00004	0.00110
	1	3.85	0.00214	0.00003	0.00012	0.00057
Laboratorio	2	3.3	0.00625	0.00000	0.00003	0.00240
	1	3.85	0.00309	0.00000	0.00002	0.00151
Innov01	2	3.3	0.00573	0.00000	0.00002	0.00222
	1	3.85	0.00287	0.00000	0.00002	0.00142
Innov02	2	3.3	0.00615	0.00000	0.00002	0.00238
	1	3.85	0.00303	0.00000	0.00002	0.00149
Escalera03	2	3.3	0.00838	0.00004	0.00004	0.00110
	1	3.85	0.00214	0.00003	0.00012	0.00057
Cred	2	3.3	0.00579	0.00000	0.00002	0.00222
	1	3.85	0.00289	0.00000	0.00002	0.00142
Aulas4,5,6	2	3.3	0.00571	0.00000	0.00001	0.00095
	1	3.85	0.00276	0.00000	0.00001	0.00060
Escalera04	2	3.3	0.00838	0.00004	0.00004	0.00110
	1	3.85	0.00214	0.00003	0.00012	0.00057
Aulas1,2,3	2	3.3	0.00571	0.00000	0.00001	0.00095
	1	3.85	0.00276	0.00000	0.00001	0.00060
Cafetín	1	3.85	0.00150	0.00000	0.00000	0.00000
Vestuario01	1	3.85	0.00078	0.00001	0.00000	0.00968
SSHH02	2	3.3	0.01017	0.00000	0.00001	0.00049
	1	3.85	0.00604	0.00000	0.00001	0.00029
Vestuario02	1	3.85	0.00078	0.00001	0.00000	0.00968

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

La rigidez obtenida en cada dirección de cada piso, se divide entre la rigidez lateral del piso inmediato superior, para comprobar las condiciones que la Norma E.030 2018 indica: que la relación entre la rigidez del piso analizado y su inmediato superior no debe ser menos del valor de 0.70, cumpliendo en todos los módulos, por lo que no existe irregularidad por rigidez ni en planta ($I_a = 1$), como se aprecia en la tabla a continuación:

Tabla 119. Irregularidad en rigidez

Módulo	Piso	Altura	CORTANTES		DISTOR-ABSOLUTAS		DISTOR-RELATIVAS		KL	
			VX	VY	DaX	DaY	DrX	DrY	X	Y
Administ.	1	3.85	48.76	1.82	0.01	0.00	0.01	0.00	4776.42	73423.10
Escalera01	2	3.3	9.36	25.49	0.01	0.00	0.01	0.00	1499.65	47996.61
	1	3.85	14.08	45.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6590.31	79569.61
SSHH01	2	3.3	17.86	17.57	0.01	0.00	0.00	0.00	4415.32	72618.18
	1	3.85	35.56	35.92	0.01	0.00	0.01	0.00	6042.77	97332.79
Sum02	2	3.3	39.81	99.74	0.01	0.00	0.00	0.00	12998.60	113341.93
	1	3.85	72.63	206.48	0.00	0.00	0.00	0.00	24284.12	133646.67
Sum01	2	3.3	35.76	83.36	0.01	0.00	0.00	0.00	12327.99	104205.63
	1	3.85	70.73	187.90	0.00	0.00	0.00	0.00	24465.93	132136.29
Escalera02	2	3.3	9.36	25.49	0.01	0.00	0.01	0.00	1499.65	47996.61
	1	3.85	14.08	45.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6590.31	79569.61
Laboratorio	2	3.3	40.00	95.25	0.01	0.00	0.00	0.00	12642.60	106906.62
	1	3.85	74.55	200.18	0.00	0.00	0.00	0.00	24133.70	132396.49
Innov01	2	3.3	35.51	83.18	0.01	0.00	0.00	0.00	12377.76	104241.10
	1	3.85	70.25	187.46	0.00	0.00	0.00	0.00	24519.72	132015.85

Innov02	2	3.3	39.85	95.61	0.01	0.00	0.00	0.00	12755.83	107062.04
	1	3.85	72.74	195.79	0.00	0.00	0.00	0.00	24015.85	131401.34
Escalera03	2	3.3	9.36	25.49	0.01	0.00	0.01	0.00	1499.65	47996.61
	1	3.85	14.08	45.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6590.31	79569.61
Cred	2	3.3	35.76	83.36	0.01	0.00	0.00	0.00	12327.99	104200.00
	1	3.85	70.73	187.89	0.00	0.00	0.00	0.00	24465.96	132129.32
Aulas4,5,6	2	3.3	59.45	71.38	0.01	0.00	0.00	0.00	20213.43	203365.53
	1	3.85	111.23	152.12	0.00	0.00	0.00	0.00	40242.98	255658.82
Escalera04	2	3.3	9.36	25.49	0.01	0.00	0.01	0.00	1499.65	47996.61
	1	3.85	14.08	45.04	0.00	0.00	0.00	0.00	6590.31	79569.61
Aulas1,2,3	2	3.3	59.45	71.38	0.01	0.00	0.00	0.00	20213.43	203365.53
	1	3.85	111.23	152.12	0.00	0.00	0.00	0.00	40242.98	255658.82
Cafetín	1	3.85	35.64	95.19	0.00	0.00	0.00	0.00	23791.52	4.452E+12
Vestuario01	1	3.85	27.14	25.70	0.00	0.01	0.00	0.01	34700.64	2654.92
SSHH02	2	3.3	18.23	13.81	0.01	0.00	0.00	0.00	4411.67	68720.90
	1	3.85	36.49	28.09	0.01	0.00	0.01	0.00	6046.38	97187.54
Vestuario02	1	3.85	27.14	25.70	0.00	0.01	0.00	0.01	34700.64	2654.92

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

La Norma E.030 2018 me indica que la distorsión máxima relativa en cada dirección analizada no debe ser 1.20 veces mayor que el desplazamiento relativo en el centro de masa, cumpliendo en todos los módulos analizados, por lo tanto, la irregularidad torsional y en altura no existe ($I_p = 1$), tal como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 120. Irregularidad torsional

Módulo	Piso	Altura	DISTOR MÁX-RELATIVAS		Desplaz. Permisible en x-x	Desplaz. Permisible en y-y	50% D. Permisible en x-x	50% D. Permisible en y-y	Despl. CM Relativo		Condición	
			X	Y					X	Y	X	Y
Administ.	1	3.85	0.0103	0.0003	0.0270	0.0193	0.0135	0.0096	0.0102	0.0001	0.0000	0.0000
Escalera01	2	3.3	0.0386	0.0013	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0375	0.0012	1.0314	0.0000
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0128	0.0013	0.0000	0.0000
SSHH01	2	3.3	0.0246	0.0003	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0243	0.0005	1.0147	0.0000
	1	3.85	0.0357	0.0005	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0353	0.0008	1.0108	0.0000
Sum02	2	3.3	0.0186	0.0022	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0184	0.0020	1.0112	0.0000
	1	3.85	0.0182	0.0039	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0179	0.0035	1.0115	0.0000
Sum01	2	3.3	0.0175	0.0020	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0174	0.0018	1.0070	0.0000
	1	3.85	0.0176	0.0035	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0173	0.0032	1.0118	0.0000
Escalera02	2	3.3	0.0386	0.0013	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0375	0.0012	1.0314	0.0000
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0128	0.0013	0.0000	0.0000
Laboratorio	2	3.3	0.0191	0.0022	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0190	0.0020	1.0071	0.0000
	1	3.85	0.0187	0.0037	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0185	0.0034	1.0117	0.0000
Innov01	2	3.3	0.0173	0.0020	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0172	0.0018	1.0072	0.0000
	1	3.85	0.0174	0.0035	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0172	0.0032	1.0118	0.0000
Innov02	2	3.3	0.0189	0.0022	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0187	0.0020	1.0072	0.0000
	1	3.85	0.0184	0.0037	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0182	0.0034	1.0117	0.0000
Escalera03	2	3.3	0.0386	0.0013	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0375	0.0012	1.0314	0.0000
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0128	0.0013	0.0000	0.0000
Cred	2	3.3	0.0175	0.0020	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0174	0.0018	1.0071	0.0000
	1	3.85	0.0176	0.0035	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0173	0.0032	1.0117	0.0000

Aulas4,5,6	2	3.3	0.0177	0.0009	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0176	0.0008	1.0044	0.0000
	1	3.85	0.0167	0.0016	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0166	0.0013	1.0076	0.0000
Escalera04	2	3.3	0.0386	0.0013	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0375	0.0012	1.0314	0.0000
	1	3.85	0.0131	0.0014	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0128	0.0013	0.0000	0.0000
Aulas1,2,3	2	3.3	0.0177	0.0009	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0176	0.0008	1.0044	0.0000
	1	3.85	0.0167	0.0016	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0166	0.0013	1.0076	0.0000
Cafetín	1	3.85	0.0091	0.0001	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0090	0.0000	0.0000	0.0000
Vestuario01	1	3.85	0.0052	0.0585	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0047	0.0581	0.0000	1.0064
SSH02	2	3.3	0.0252	0.0005	0.0231	0.0165	0.0116	0.0058	0.0248	0.0005	1.0157	0.0000
	1	3.85	0.0366	0.0007	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0362	0.0007	1.0119	0.0000
Vestuario02	1	3.85	0.0052	0.0585	0.0270	0.0193	0.0135	0.0067	0.0047	0.0581	0.0000	1.0064

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

Según los lineamientos de la norma Sismorresistente, las distorsiones en cada dirección de análisis deben ser menores que el 0.007 cuando se utilizan elementos de concreto armado, y menores que 0.005 para sistemas de albañilería. en la tabla siguiente, se puede apreciar que para los módulos Escaleras 01, 02, 03 y 04, así como también en los SS.HH. 01 y 02, no cumplen los parámetros ya mencionados.

Tabla 121. Distorsiones de entrepiso

Módulo	Piso	Altura	Load Case	Distorsiones		Norma E.030 2018	
				Dx	Dy	Dx<0.007	DX<0.005
Administ.	1	3.85	Dist din	0.0027	0.0006	0.007	0.005
Escalera01	2	3.3	Dist din	0.0118	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0034	0.0004	0.007	0.005
SSHH01	2	3.3	Dist din	0.0075	0.0001	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0093	0.0001	0.007	0.005
Sum02	2	3.3	Dist din	0.0057	0.0007	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0047	0.0010	0.007	0.005
Sum01	2	3.3	Dist din	0.0053	0.0006	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0046	0.0009	0.007	0.005
Escalera02	2	3.3	Dist din	0.0118	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0034	0.0004	0.007	0.005
Laboratorio	2	3.3	Dist din	0.0058	0.0007	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0048	0.0010	0.007	0.005
Innov01	2	3.3	Dist din	0.0052	0.0006	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0045	0.0009	0.007	0.005
Innov02	2	3.3	Dist din	0.0057	0.0007	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0048	0.0010	0.007	0.005
Escalera03	2	3.3	Dist din	0.0118	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0034	0.0004	0.007	0.005
Cred	2	3.3	Dist din	0.0053	0.0006	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0046	0.0009	0.007	0.005

Aulas4,5,6	2	3.3	Dist din	0.0054	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0043	0.0000	0.007	0.005
Escalera04	2	3.3	Dist din	0.0118	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0034	0.0004	0.007	0.005
Aulas1,2,3	2	3.3	Dist din	0.0054	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0043	0.0000	0.007	0.005
Cafetín	1	3.85	Dist din	0.0024	0.0000	0.007	0.005
Vestuario01	1	3.85	Dist din	0.0000	0.0152	0.007	0.007
SSHH02	2	3.3	Dist din	0.0077	0.0000	0.007	0.005
	1	3.85	Dist din	0.0095	0.0000	0.007	0.005
Vestuario02	1	3.85	Dist din	0.0000	0.0152	0.007	0.007

Fuente: Etabs 2016 v16.2.1

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Determinación de la vulnerabilidad estructural aplicando el método Hirosawa

La investigación realizada tiene como objetivo principal determinar la vulnerabilidad sísmica de la Institución Educativa Elvira García y García, para lo cual se analizaron los valores numéricos obtenidos de los índices de vulnerabilidad estructural y demanda sísmica.

Para esto, se efectuaron visitas previas a las instalaciones de la institución con el fin de verificar los datos recolectados del expediente técnico, así como también características físicas (figuración, humedad, mantenimiento de la estructura, etc.) de cada módulo a analizar.

Del análisis de la vulnerabilidad sísmica de cada módulo, aplicando la metodología de Hirosawa, se calculó el valor del índice de resistencia de columnas, configuración estructural, deterioro de la edificación, y se compara con el valor del índice de demanda sísmica, que depende de la zonificación, ubicación sísmica, tipo de suelo, etc.

A continuación, se muestran los resultados del índice de resistencia sísmica y el índice de demanda sísmica, para cada módulo analizado:

Tabla 122. Resultados del índice de resistencia sísmica (Is) y demanda sísmica (Iso) para cada módulo analizado

N°	MÓDULO	PISO	Is-xx	Iso-xx	Is-yy	Iso-yy
1	ADMINISTRACIÓN	1	1.27	0.41	1.71	1.10
2	ESCALERAS 01	2	0.67	0.41	2.54	1.10
		1	0.34	0.41	1.31	1.10
3	SS.HH-01	2	1.27	0.41	2.76	1.10
		1	0.54	0.41	1.34	1.10
4	SUM-02	2	1.22	0.41	2.51	1.10
		1	0.64	0.41	1.22	1.10
5	SUM-01	2	1.71	0.41	2.78	1.10
		1	0.77	0.41	1.25	1.10
6	ESCALERAS 02	2	0.67	0.41	2.54	1.10
		1	0.34	0.41	1.31	1.10
7	LABORATORIO	2	1.51	0.41	2.78	1.10
		1	0.73	0.41	1.25	1.10
8	INNOVACIÓN 01	2	1.73	0.41	2.79	1.10
		1	0.78	0.41	1.26	1.10
9	INNOVACIÓN 02	2	1.50	0.41	2.43	1.10
		1	0.75	0.41	1.21	1.10
10	ESCALERAS 03	2	0.67	0.41	2.54	1.10
		1	0.34	0.41	1.31	1.10
11	CRED	2	1.71	0.41	2.78	1.10
		1	0.77	0.41	1.25	1.10
12	AULAS 4,5,6,	2	1.58	0.41	2.47	1.10
		1	0.75	0.41	1.18	1.10
13	ESCALERAS 04	2	0.67	0.41	2.54	1.10
		1	0.34	0.41	1.31	1.10
14	AULAS 1,2,3	2	1.58	0.41	2.47	1.10
		1	0.75	0.41	1.18	1.10

15	CAFETÍN, COCINA, TÓPICO	1			2.72	1.10
			1.72	0.41		
16	VESTUARIOS 01	1	1.07	0.41	0.54	0.41
17	SS.HH-02	2	1.09	0.41	2.47	1.10
		1	0.46	0.41	1.16	1.10
18	VESTUARIOS 02	1	1.07	0.41	0.54	0.41

Elaboración: Los autores

Por lo tanto, después de comparar el índice de vulnerabilidad estructural (Is) con el de juicio propio (Iso), se determinó, mediante el método Hirosawa, que cuatro de los dieciocho módulos analizados son vulnerables ante acciones sísmicas, por lo que se rechaza la hipótesis inicialmente planeada, la cual indicaba que la institución Educativa Elvira García y García no presenta vulnerabilidad sísmica.

Tabla 123. Estado de vulnerabilidad de cada módulo

Módulo	Piso	X-X	Y-Y	Estado del Módulo
Administración	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Escalera 01	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Inseguro	Seguro	VULNERABLE
SS.HH 01	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Sum 02	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Sum 01	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Escalera 02	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Inseguro	Seguro	VULNERABLE
Laboratorio	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Innovación 01	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Innovación 02	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Escalera 03	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Inseguro	Seguro	VULNERABLE
Cred	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE

	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Aulas 4,5,6	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Escalera 04	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Inseguro	Seguro	VULNERABLE
Aulas 1,2,3	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Café, Cocina, Tópico	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Vestuarios 01	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
SS.HH 02	2°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE
Vestuarios 02	1°	Seguro	Seguro	NO VULNERABLE

Elaboración: Los autores

Al analizar el índice de configuración estructural mediante el método Hirosawa, se obtuvo como resultado el valor de 1.0 (como se muestra en la tabla 121) que indica que la edificación no presenta irregularidades en planta, la relación largo-ancho en planta es la adecuada, las juntas sísmicas son mayores a 0.01 m, y presenta uniformidad en la altura de entepiso. Con estos resultados podemos tomar la hipótesis planteada como cierta.

Tabla 124. Resultados índice de configuración Estructural (SD)

Módulo	Piso	SD X-X	SD Y-Y
Administración	1°	1.00	1.00
Escalera 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Sum 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Laboratorio	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00

Innovación 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Innovación 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 03	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 04	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00
Vesturarios 01	1°	1.00	1.00
SS.HH 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Vesturarios 02	1°	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

Después de analizar el índice de comportamiento básico estructural (Eo), mediante el método Hirosawa, se obtuvieron resultados en la dirección X-X en el rango de 0.34 al 1.73 y en Y-Y en el rango de 0.54 a 2.79 (como se muestra en la tabla 122), con lo cual se puede aceptar la tercera hipótesis planteada lo cual indica que, en determinados módulos, el índice de resistencia de los elementos estructurales es mayor en la dirección Y, por lo que se rechaza la hipótesis planteada que indica que el rango sería de 1.0 a 1.50.

Tabla 125. Resultados índice de comportamiento Estructural (Eo)

Módulo	Piso	Eo X-X	Eo Y-Y
Administración	1°	1.27	1.71
Escalera 01	2°	0.67	2.54
	1°	0.34	1.31
SS.HH 01	2°	1.27	2.76
	1°	0.54	1.34

Sum 02	2°	1.22	2.51
	1°	0.64	1.22
Sum 01	2°	1.71	2.78
	1°	0.77	1.25
Escalera 02	2°	0.67	2.54
	1°	0.34	1.31
Laboratorio	2°	1.51	2.78
	1°	0.73	1.25
Innovación 01	2°	1.73	2.79
	1°	0.78	1.26
Innovación 02	2°	1.50	2.43
	1°	0.75	1.21
Escalera 03	2°	0.67	2.54
	1°	0.34	1.31
Cred	2°	1.71	2.78
	1°	0.77	1.25
Aulas 4,5,6	2°	1.58	2.47
	1°	0.75	1.18
Escalera 04	2°	0.67	2.54
	1°	0.34	1.31
Aulas 1,2,3	2°	1.58	2.47
	1°	0.75	1.18
Café, Cocina, Tópico	1°	1.72	2.72
Vesturarios 01	1°	1.07	0.54
SS.HH 02	2°	1.21	2.75
	1°	0.51	1.29
Vesturarios 02	1°	1.07	0.54

Elaboración: Los autores

Finalmente, para encontrar el índice de vulnerabilidad sísmica (I_s), se determinó el índice de tiempo de deterioro de la estructura mediante el análisis de tablas del método Hirosawa, obteniendo como resultado un valor de 1.0 para todos los módulos analizados de la Institución Educativa Elvira García y García se obtuvo como resultado el valor de 1.0 (como se muestra en la tabla X), con lo cual se acepta la tercera hipótesis específica planteada.

Tabla 126. Resultados índices de tiempo de deterioro (T)

Módulo	Piso	T X-X	T Y-Y
Administración	1°	1.00	1.00
Escalera 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
SS.HH 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Sum 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Sum 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Laboratorio	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Innovación 01	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Innovación 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 03	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Cred	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Aulas 4,5,6	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Escalera 04	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Aulas 1,2,3	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Café, Cocina, Tópico	1°	1.00	1.00
Vesturarios 01	1°	1.00	1.00
SS.HH 02	2°	1.00	1.00
	1°	1.00	1.00
Vesturarios 02	1°	1.00	1.00

Elaboración: Los autores

Para encontrar el índice de demanda sísmica se realizó una comparativa entre la norma japonesa y la peruana, analizando las condiciones de terreno, zonificación sísmica, importancia o uso de la edificación, factor de amplificación del suelo y de reducción sísmica del

sistema estructural. El cálculo de éste índice resultó en la dirección X-X un valor de 0.41 y en Y-Y un valor de 1.10, rechazando así la última hipótesis planteada.

Tabla 127. Resultado índice de demanda sísmica (Iso)

Módulo	Piso	Iso X-X	Iso Y-Y
Administración	1°	0.41	1.10
Escalera 01	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
SS.HH 01	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Sum 02	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Sum 01	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Escalera 02	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Laboratorio	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Innovación 01	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Innovación 02	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Escalera 03	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Cred	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Aulas 4,5,6	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Escalera 04	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Aulas 1,2,3	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Café, Cocina, Tópico	1°	0.41	1.10
Vesturarios 01	1°	0.41	1.10
SS.HH 02	2°	0.41	1.10
	1°	0.41	1.10
Vesturarios 02	1°	0.41	1.10

Elaboración: Los autores

6.2. Determinación de la vulnerabilidad Método cuantitativo

Adicionalmente, a la evaluación de vulnerabilidad sísmica con el método Hirosawa, se realizó un modelamiento en el software Etabs 2016 v16.2.1, para analizar las distorsiones de entrepiso y compararlas con los parámetros que me indica la Norma E.030 2018, si no se cumpliese con las condiciones señaladas se concluirá que el módulo analizado es vulnerable.

Después de realizar el análisis dinámico en el software Etabs 2016 v16.2.1 a los 18 módulos de la Institución Educativa Elvira García y García, en los módulos Escalera 01, 02, 03 y 04, SSHH 01 y 02, Vestuarios 01 y 02, se obtuvieron distorsiones en la dirección X-X que excedían los parámetros señalados por la Norma E.030 2018, mientras que en la dirección Y-Y resultaron derivas muy por debajo de lo permisible, con lo que se pudo concluir que 06 de los 18 módulos evaluados son vulnerables ante acciones de sismo.

CONCLUSIONES

- La evaluación de la vulnerabilidad estructural aplicando el método Hirosawa, demuestra que la I.E. Elvira García y García resulta vulnerable en 04 módulos (Escaleras 01, 02, 03 y 04), y con el método cuantitativo resultan 08 módulos (Escaleras 01, 02, 03 y 04, SSHH 01 y 02, Vestuarios 01 y 02) vulnerables, por lo cual se rechaza la hipótesis general planteada.
- El comportamiento estructural calculado para cada módulo varía entre los valores de 0.34 al 2.79, y estos están condicionados por el sistema estructural, el peso de la edificación, calidad de los elementos estructurales (f_c) y cantidad de elementos verticales que resisten el peso de la edificación (columnas).
- Los resultados de configuración estructural son los más altos, debido a las buenas condiciones como su regularidad en planta, relación largo y ancho, contracción de planta, pero después de un juicioso estudio y una detallada aplicación del método los resultados obtenidos son valores pequeños en los pisos inferiores.
- Se realizó la evaluación del deterioro de la edificación de la I.E. Elvira García y García en base a la información existente de la deformación permanente, grietas en columnas, incendios, usos, tipo de daño estructural, esta información sirvió para el criterio de la clasificación de daños asociados a la estructura considerando algunos parámetros, teniendo éstos las más óptimas condiciones.

- Se procedió a recolectar la información de las condiciones de terreno como estudio de suelos y estudio topográfico de la I.E. Elvira García y García y se compararon los parámetros de la norma peruana con la norma japonesa y así calcular el índice de demanda sísmica, obteniendo un valor de 0.41 en dirección X y 1.10 en dirección Y.

RECOMENDACIONES

- Promover los estudios expuesto del método Hirosawa en diferentes instituciones ya que es un método confiable, práctico y que está oficializado actualmente en Japón, realizar el estudio más detallado a todas las estructuras vulnerables y plantear propuestas de reforzamiento.
- Hacer una comparación y análisis del método Hirosawa con la norma peruana y se introduzca algunos parámetros de este método al R.N.E.
- Realizar un análisis profundo del índice de configuración estructural de acuerdo a las tablas que proporciona el método Hirosawa para calcular de manera correcta el índice de resistencia sísmica.
- Tomar en cuenta los resultados de esta investigación para empezar a reforzar los módulos vulnerables, ya que son vitales para salvar vidas ante eventos sísmicos.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Abanto, V. y Cardenas, C. (2015). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti – Petrini en las Instituciones Educativas del Centro Histórico de Trujillo, Provincia de Trujillo, Región La Libertad*. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/2056>
2. Astorga, M. y Aguilar, R. (2006). *“Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas”* (Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperada de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1332>
3. Bernal, I. y Tavera, H. (2002). *Geodinámica, Sismicidad y Energía sísmica en el Perú*. CNDG – Sismología – IGP (Eds). Lima, Perú. Recuperada de <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/481>
4. Caballero, A. (2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información Geográfica*. (Tesis de Maestría, Universidad del Norte, Sincelejo, Colombia). Recuperada de <http://manqlar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/105/92535650.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

5. Calle, C. (2017). *Vulnerabilidad estructural de la I.E. N° 10024 “Nuestra Señora de Fátima”*. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú). Recuperada de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4228>
6. Cortez, C. y Fernández, J. (2017). Análisis de la vulnerabilidad sísmica en el pabellón “D” de la Universidad Privada Antenor Orrego. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú). Recuperada de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/3588>
7. Gonzáles, F. (2017). “*Vulnerabilidad sísmica del edificio 1-I de la Universidad Nacional de Cajamarca*”. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú). Recuperada de http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1026/T016_71579729_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Hernández, M. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de edificios del campus Mocambo de la universidad Veracruzana*. (Tesis de Maestría, Universidad de Veracruzana, Veracruz, Mexico). Recuperada de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41547/HernandezAvilaMiguel.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
9. INDECI. (2003). *Microzonificación de la Ciudad de Chiclayo y Zonas de Expansión para la Reducción de Desastres*, UNPRG - Lambayeque.
10. Iglesias, J. (1986), “Evaluación de la capacidad sísmica de edificios en la ciudad de México”, Secretaria de Obras, México.
11. Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres, viviendo en armonía con la naturaleza*. Julio Kuroiwa Primera Edición. Lima, Perú.

12. Lezama, J. (2015). *Estudio de vulnerabilidad - Bloque 3 - Administración*. Arequipa - Perú.
13. Luna, V. (1998). “*Determinación del Índice de Juicio Estructural Iso para El Método de Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Hirosawa*”. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú). Recuperada de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2958>
14. Navia, J. y Barrera, E. (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá*. (Proyecto de grado, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia). Recuperada de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15337/T40.08%20N229d.pdf;jsessionid=8BEECC0028A329FF6CC88793FB32A60D?sequence=1>
15. Mattos, F. (2014). “*Evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio municipal del distrito de Río Negro a través del método de Hirosawa*”. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú). Recuperada de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2979>
16. Muñoz, A., León H., Quintana U. y Bondet M. (2005). *Desempeño sismorresistente de los colegios peruanos modernos. Lima – Perú*. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Particular de Loja, Loja, Ecuador). Recuperada de <http://www.ingenieriasismica.utpl.edu.ec/?q=node/305>
17. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (22 de octubre de 2018). Artículo 2 [Capítulo I]. Reglamento Nacional

de Edificaciones [Norma E.030 2018]. Diseño Sismorresistente. DO: El Peruano

18. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (23 de mayo de 2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.020, Cargas*. Lima, Perú: El Ministerio.
19. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.060, Concreto Armado*. Lima, Perú: El Ministerio.
20. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (23 de mayo de 2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.070, Albañilería*. Lima, Perú: El Ministerio.
21. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.050, Suelos y Cimentaciones*. Lima, Perú: El Ministerio.
22. 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 para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador). Recuperada de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5295>
23. Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2004), *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. (Serie Mitigación de Desastres), ISBN 92 75 32304 6, Washington, D.C.
24. Pariona P. (2014), *Una propuesta para determinar el reforzamiento de edificaciones existentes*. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú). Recuperada de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4429>

25. Picon, C. y Vargas, D. (2011). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la sede principal del colegio de Santander en Bucaramanga*. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia).
26. Ramírez, B. y Salazar, P. (2015). “*Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos públicos y privados del distrito de la Victoria*”. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú). Recuperada de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/523>
27. Soto, E. (2018). “*Comparación de los métodos: fema 154, Hirosawa y Demanda - Resistencia para evaluar vulnerabilidad sísmica en infraestructura educativa – Baños del Inca*”. (Tesis para la Obtención del Título Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú). Recuperada de <http://hdl.handle.net/11537/13477>
28. Tavera, H. (2005). Sismo intermedio del 25 de setiembre 2005 (7.0 ML). Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
29. Tarbuck, E. y Lugens, F. (2001). Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Octava edición, Madrid, España.
30. Velásquez, J. (2006). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante curvas de fragilidad analíticas*. (Tesis para la Obtención del grado de Magister en Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Católica del Perú, Lima, Perú). Recuperada de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/135>
31. Wegener, A. (1966). The Origin of Continents and Oceans. New York – USA.
32. Zora, F. (2013). *Identificación del índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas de Medellín*. (Trabajo para la Obtención del grado de Magister en Ingeniería, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia). Recuperada de <http://hdl.handle.net/10784/2843>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Anexo 02: Fotos de visita a campo

Anexo 03: Formato de Hirosawa (Módulo Aulas 1,2,3)

Anexo 04: Planos de arquitectura

Anexo 05: Estudio de suelo

Anexo 06: Cuaderno de obra

Anexo 07: Autorización de ingreso a colegio

Anexo 08: Validación de expertos