



**Vulnerabilidad estructural de edificaciones en el campus Sangolquí de la  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.**

Guama Terán, Edwin Patricio; Loya Chiguano, Carla Denisse; Nacimba Loachamín, Paola  
Estefanía y Páez Freire, Cristian Xavier

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Caiza Sánchez Pablo Enrique PH.D.

14 de agosto del 2022



MIC\_Vulnerabilidad estructural de edificaciones en el campus ...

Scanned on: 11:54 August 24, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	2446
Words with Minor Changes	541
Paraphrased Words	494
Omitted Words	0



Firmado digitalmente por:  
PABLO ENRIQUE  
CAIZA SANCHEZ

**Ing. Caiza Sánchez Pablo Enrique PH.D.**

C.C. 1707597272



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Vulnerabilidad estructural de edificaciones en el campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** fue realizado por los señores **Guama Terán, Edwin Patricio; Loya Chiguano, Carla Denisse; Nacimba Loachamín, Paola Estefanía y Páez Freire, Cristian Xavier**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de agosto 2022



Firmado digitalmente por:  
**PABLO ENRIQUE  
CAIZA SANCHEZ**

.....  
**Ing. Caiza Sánchez, Pablo Enrique, Ph. D.**

C.C. 1707597272



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Guama Terán, Edwin Patricio; Loya Chiguano, Carla Denisse; Nacimba Loachamín Paola Estefanía y Páez Freire, Cristian Xavier**, con cédulas de ciudadanía n° 1721237392, 1727571380, 1727159889 y 1723402986, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Vulnerabilidad estructural de edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 25 de agosto de 2022**

**Guama Terán, Edwin Patricio**  
C.C.: 1721237392

**Loya Chiguano, Carla Denisse**  
C.C.: 1727571380

**Nacimba Loachamín Paola Estefanía**  
C.C.: 1727159889

**Páez Freire, Cristian Xavier**  
C.C.: 1723402986



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Guama Terán, Edwin Patricio; Loya Chiguano, Carla Denisse; Nacimba Loachamín Paola Estefanía y Páez Freire, Cristian Xavier**, con cédulas de ciudadanía n° 1721237392, 1727571380, 1727159889 y 1723402986, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Vulnerabilidad estructural de edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 25 de agosto de 2022**

**Guama Terán, Edwin Patricio**  
C.C.: 1721237392

**Loya Chiguano, Carla Denisse**  
C.C.: 1727571380

**Nacimba Loachamín Paola Estefanía**  
C.C.: 1727159889

**Páez Freire, Cristian Xavier**  
C.C.: 1723402986

**Dedicatoria**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Edwin y Ximena, que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida, a pesar de las fallas cometidas siempre me han dado la fuerza para levantarme y seguir adelante.

A mis hermanas Belén y Paula que han estado ahí apoyándome de igual manera a lo largo del proceso y han sido una fuente de fortaleza para llevar a conseguir mis metas. De igual manera a familiares y amigos que me han estado acompañando a lo largo de este proceso y han celebrado conmigo cada logro.

***Sr. Edwin Patricio Guama Terán***

**Dedicatoria**

El presente trabajo lo dedico a Dios, la santísima virgen y a mi niño Jesús por guiar mi vida y haberme dado una bella familia.

A mis padres Manuel y Yolanda, porque gracias a su esfuerzo y apoyo diario he logrado terminar una meta más. Son lo más valioso que tengo en mi vida y mi pilar fundamental para seguir adelante.

A Priscila Loya, Julio Maza e hijas, mi segunda familia que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional.

A mis hermanas Sandra y Camila, por ser parte de mi vida.

A mis seres queridos que se encuentran en el cielo.

***Srta. Carla Denisse Loya Chiguano***

**Dedicatoria**

A Dios, porque ha estado conmigo en cada paso de este camino, fortaleció mi corazón, iluminó mi mente y puso en mi camino personas increíbles quienes me apoyaron y me acompañaron a lo largo de mis estudios.

Dedico también este proyecto a mis padres: Paúl y Ximena, cuyo amor, paciencia y arduo trabajo me han permitido alcanzar hoy otro sueño, gracias por inculcarme el ejemplo del trabajo duro y honesto, además de no temer a las adversidades porque

Dios siempre está conmigo.

A mis hermanas Milena y Renata porque son mi mayor motivo de alcanzar este logro y quiero que vean en mi un ejemplo a seguir.

A mi familia, amigos y compañeros por sus oraciones, consejos y palabras de ánimo cuando las necesitaba han hecho de mí una mejor persona y me han acompañado de alguna manera a alcanzar todos mis sueños y metas.

Muchas gracias.

***Srta. Paola Estefanía Nacimba Loachamín***

**Dedicatoria**

El presente trabajo en primer lugar va dedicado a Dios, por guiarme en mi camino para siempre hacer lo correcto.

A mis padres Ximena y Olger, a mi abuelito Ernesto; que sin lugar a duda ustedes tres son y serán los pilares del hombre que hoy en día soy, por su complicidad, afecto y su inmenso amor el cual siempre se vio reflejado de muchas enseñanzas y palabras de motivación, por esto y muchas razones más este y todos los logros son por y para ustedes.

A mi hermano Fernando, que con su ejemplo y su compañía me supo guiar por un camino correcto mostrándome el ejemplo de la dedicación.

A mi mascota Bingo, el cual no puede faltar, por demostrarme el significado del amor sin decir una palabra y sin duda ser mi mejor amigo.

“Avanza siempre a paso firme por más difícil que sea el camino, con la cara en alto y una sonrisa, ya que ahí está la fortaleza de un hombre”.

***Sr. Cristian Xavier Páez Freire***

**Agradecimiento**

Agradezco a todas las personas que han estado en mi camino y me han apoyado en todo momento, principalmente a mis padres y hermanas que son el motor que me hacen seguir adelante, quienes han creído en mí y en cada decisión que he tomado, ellos son a quienes debo todo lo que soy ahora.

De igual manera a mi familia y amigos que han sido importantes en mi vida agradezco que hayan estado ahí cuando lo necesitaba.

Como último agradezco al Ing. Pablo Caiza PhD y mis compañeros Cristian, Paola y Denisse, que sin ellos no se hubiera concretado este trabajo.

**Sr. Edwin Patricio Guama Terán**

**Agradecimiento**

A Dios, la virgen María y mi niño Jesús, que han guiado cada uno de mis pasos a lo largo de mi vida.

A mi padre Manuel y mi madre Yolanda, que han luchado día a día por un futuro mejor para sus hijas, por ser mi ejemplo de perseverancia, y por cada palabra de aliento para nunca rendirme. Mis logros son los suyos.

A Priscila y Julio, que me han considerado una hija más en su familia y siempre han estado pendientes de mí.

A mis hermanas por ser mi eterna compañía en el camino de mi vida.

A una persona especial que siempre me motivo a que siga enriqueciendo mis conocimientos, quien tuvo la paciencia de enseñarme temas de la carrera y me motivo a seguir adelante cuando quería rendirme. (Pequeña Saltamontes).

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por abrirme sus puertas para poder estudiar en sus aulas y realizarme como profesional.

Al Dr. Pablo Caiza, quien con todo el gusto acepto ser nuestro tutor y con su esfuerzo constante se logró culminar con éxito el presente proyecto, enriqueciéndonos de conocimientos para nuestra vida profesional.

Al Ing. Juan Haro quien es un excelente profesional y persona, porque siempre estuvo dispuesto a brindarnos su conocimiento, ayuda y apoyo.

A los docentes que han sido parte de mi desarrollo académico, gracias a sus conocimientos es que he podido culminar la carrera con éxito.

A todas las personas que fueron parte de mi vida estudiantil, gracias por su amistad, apoyo y risas a lo largo de todo este camino.

***Srta. Carla Denisse Loya Chiguano***

## **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme hecho llegar tan lejos porque me encaminó a hacer realidad este sueño.

Un agradecimiento infinito a toda mi familia que me brindó la confianza, el cariño y la paciencia que necesitaba para formarme y convertirme en un profesional.

Gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por darme la oportunidad de estudiar y ser profesional. Agradezco a mi tutor de este trabajo, Dr. Pablo Caiza, por su arduo trabajo y dedicación, quien con su conocimiento, experiencia, paciencia y motivación me ha permitido culminar con éxito mis estudios. También quiero agradecer

a mi alma mater, Ing. Néstor David Mejía Mgs, quien a lo largo de mi paso por la Universidad aportó con un granito de arena a mi formación, gracias infinitas por sus sabios consejos, sus enseñanzas que me sirvieron tanto en mi vida personal como en mi vida estudiantil y lo más importante gracias por su amistad.

Hay tantas personas que han sido parte de este proceso y me encantaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo, aliento y sobre todo por la compañía durante los momentos más difíciles de mi vida. Algunos están conmigo, algunos están en mi memoria y en mi corazón, donde quiera que estén, quiero agradecerles por ser parte de mí, por todo lo que me dieron, por todas sus bendiciones y por todas las experiencias.

Con mucho amor, mil gracias.

***Srta. Paola Estefanía Nacimba Loachamín***

## **Agradecimiento**

A mi madre Ximena, la muestra más clara de amor, por esa complicidad madre e hijo que tenemos por ser una mujer muy fuerte y firme en sus decisiones, por guiarme y permitirme sin duda ser el hombre que soy, porque gracias a tu apoyo llegue a este punto de mi vida.

A mi padre Olger, porque sin ti no sería ni la mitad de hombre que soy, me mostraste el camino del trabajo duro y la perseverancia, por darme los mejores consejos y guiarme siempre, por enseñarme que la grandeza de un hombre no se mide de los pies a la cabeza, sino de la cabeza para arriba, jamás olvido cada una de tus palabras.

A mi abuelito Ernesto, por mostrarme el camino que quiero recorrer, porque también es un papá para mí, siempre motivándome desde que tengo memoria y enseñándome que el esfuerzo duro tiene sus recompensas.

A mi hermano, mejores amigos, todos y cada una de las personas que me acompañaron en este largo camino, todos los que estuvieron y están, por estar ahí cuando más los necesite, gracias por la compañía en esas noches de velada, dándome la fortaleza que necesitaba para que un día este hombre llegara tan lejos, gracias a todos y cada uno de ustedes sin duda puedo decirles, estén orgullosos de mí, que aún tengo mucho por recorrer y mucho que ofrecer.

Como ultimo agradecimiento a todos y cada uno de mis maestros, que, sin sus conocimientos, no hubiese sido posible crecer profesionalmente, al Ing. Pablo Caiza y compañeros Edwin, Denisse y Paola, por complementarnos para culminar este trabajo, a pesar de cada diferencia siempre avanzando.

“La diferencia entre un ganador y un perdedor es que el ganador perdió muchas más veces que el perdedor, pero este siguió avanzando hasta ser un ganador”.

¡Seamos siempre ganadores!

***Sr. Cristian Xavier Páez Freire***

**Índice de contenidos**

Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	10
Índice de contenidos .....	14
Índice De Tablas .....	23
Índice De Figuras .....	29
Resumen .....	38
Abstract .....	39
Capítulo 1 .....	40
Generalidades .....	40
Introducción .....	40
Antecedentes .....	41
Planteamiento del problema .....	43
Macro .....	43
Meso .....	44
Micro .....	44
Justificación e Importancia .....	45
Objetivos .....	46
Objetivo General .....	46
Objetivos específicos .....	46
Descripción del contenido .....	48
Capítulo 1 .....	48

Capítulo 2.....	48
Capítulo 3.....	48
Capítulo 4.....	48
Capítulo 5.....	49
Capítulo 6.....	49
Capítulo 7.....	49
Capítulo 2.....	50
Marco teórico .....	50
Riesgo sísmico .....	50
Riesgo sísmico en el Ecuador .....	50
Riesgo sísmico en Quito .....	52
Derivas máximas, límites permisibles.....	53
Según la NEC-15 .....	53
Según el Código Ecuatoriano de la Construcción.....	54
Caracterización de la edificación .....	54
Geotécnica. ....	54
Ensayo de refracción sísmica.....	55
Ensayo de Nakamura.....	57
Ensayos No destructivos .....	57
Ensayos Pachómetro.....	57
Ensayos esclerométrico (ASTM C 805) .....	58
Análisis estructural .....	59

Acciones sobre las estructuras analizadas .....	60
Tipos de análisis.....	62
Análisis estático lineal .....	63
Análisis estático no lineal .....	64
Análisis dinámico lineal .....	69
Análisis dinámico no lineal.....	70
Modelación de estructuras .....	71
Normativa ecuatoriana de la construcción .....	72
Diseño basado en fuerzas .....	74
Diseño Basado en Desplazamientos.....	84
Visión General de la teoría dinámica.....	88
Generalidades de la dinámica estructural .....	89
Excitaciones .....	90
Problema físico y representación matemática .....	92
Modelo matemático.....	93
Ecuación del movimiento .....	95
Análisis modal espectral .....	98
Ecuaciones empleadas.....	98
Respuesta Modal .....	99
Fuerza modal .....	100
Cortante basal.....	100
Máximas aceleraciones de piso.....	101

Máxima aceleración basal .....	101
Criterio de combinación modal .....	101
Capítulo 3.....	103
Caracterización de las estructuras .....	103
Ubicación.....	103
Referencia arquitectónica y estructural .....	104
Problema estructural.....	105
Geometría general .....	105
Descripción general .....	105
Descripción en planta de los bloques.....	107
Descripción en elevación de las edificaciones.....	109
Tipos de apoyos.....	111
Detalle de columnas de las edificaciones.....	112
Detalle de Vigas de las edificaciones .....	113
Detalle de losa de las edificaciones.....	117
Esfuerzo de fluencia de acero .....	118
Resistencia a la compresión del hormigón.....	119
Módulo de elasticidad especificado.....	119
Modelamiento tridimensional de las edificaciones .....	119
Cargas en las edificaciones .....	121
Carga muerta o permanente.....	121
Peso propio de las vigas.....	123

Peso Propio en columnas .....	124
Peso Propio de Mampostería .....	126
Peso Propio de acabados .....	127
Peso muerto en cubierta .....	128
Cargas Viva o Temporal .....	129
Cortante basal .....	130
Carga sísmica reactiva (W).....	143
Geotecnia - Ensayos de suelos .....	146
Sísmica de refracción.....	146
Ensayo de Nakamura.....	163
Ensayos no destructivos .....	171
Esclerómetro .....	171
Pachómetro .....	179
Capítulo 4.....	182
Evaluación de la vulnerabilidad sísmica.....	182
Evaluación de la vulnerabilidad estructural .....	182
Metodología NEC .....	182
Descripción de la metodología .....	183
Registro de datos .....	184
Resultados .....	193
Observaciones .....	194
Metodología FEMA P-154.....	196

Descripción de la metodología .....	197
Registro de datos en formulario Nivel 1 .....	201
Registro de datos en formulario Nivel 2 .....	222
Resultados .....	225
Observaciones .....	226
Metodología FUNVISIS.....	228
Registro de datos .....	230
Procesamiento de datos .....	242
Resultados .....	256
Otras metodologías.....	258
Metodología FEMA P-1000.....	259
Descripción.....	259
Grupos de Vulnerabilidad (GV).....	259
Puntaje base de Evaluación según la guía de (Ballesteros & Caizaguano, 2020) ..	260
Grupos de Vulnerabilidad GV1, GV2 y GV3.....	263
Grupo de Vulnerabilidad GV1 .....	263
Grupo de Vulnerabilidad (GV2) .....	269
Patologías en los sistemas estructurales .....	277
Grupo de Vulnerabilidad (GV3) .....	284
Puntaje del Grado de Vulnerabilidad .....	290
Capacidad de respuesta (Cr).....	292
Nivel de exposición de la amenaza (NE).....	294

Vulnerabilidad total.....	295
Coeficiente de capacidad.....	295
Riesgo global (Rg).....	296
Resultados .....	298
Observaciones .....	299
Comparación de los resultados .....	300
Capítulo 5.....	302
Ensayos de instrumentación sísmica.....	302
Descripción.....	302
Equipos y materiales.....	302
Software para registro y procesamiento de datos.....	303
Procedimiento .....	306
Procesamiento e Interpretación de datos.....	312
Software Signal Express.....	312
Procesamiento de datos .....	312
Software Signal Express.....	312
Software Geopsy.....	313
Software MATLAB.....	315
Resultados .....	316
Software Geopsy.....	316
Software MATLAB.....	319
Índice de vulnerabilidad .....	324

Capítulo 6.....	329
Modelos numéricos computacionales .....	329
Descripción de materiales.....	331
Acero .....	331
Descripción de Secciones.....	334
Columnas .....	334
Vigas.....	336
Losa.....	338
Viga equivalente.....	338
Diafragmas .....	341
Definición del espectro de diseño de aceleraciones .....	342
Cargas consideradas .....	343
Carga muerta .....	343
Carga viva .....	344
Carga viva de cubierta.....	344
Carga de viento.....	344
Carga de granizo.....	345
Carga sísmica estática en x.....	345
Carga sísmica estática en y.....	345
Definición de patrones de carga .....	346
Definición de la masa.....	346
Definición de casos de carga.....	347

Combinaciones de carga .....	348
Rigidización de nudos .....	350
Edificaciones modeladas .....	351
Análisis estático elástico .....	353
Derivas de Piso .....	354
Períodos de vibración .....	355
Análisis estático no lineal (Pushover) .....	360
Configuración A.....	361
Configuración B.....	364
Resultados .....	365
Configuración A en x.....	366
Configuración 1 en y .....	368
Configuración B en x.....	370
Configuración B en Y .....	372
Capítulo 7 .....	374
Conclusiones y recomendaciones.....	374
Conclusiones.....	374
Recomendaciones .....	377
Referencias .....	379
Apéndices .....	387

### Índice De Tablas

Tabla 1 Coordenadas geografias de los bloques analizados en en el proyecto UFA-ESPE.....	104
Tabla 2 Detalle de columnas: posición, sección transversal y refuerzo de acero.....	112
Tabla 3 Resumen de vigas de los entre pisos y cubierta. ....	114
Tabla 4 Resumen de las vigas de alma abierta .....	115
Tabla 5 Configuración de Viga de Alma Abierta .....	117
Tabla 6 Parámetros geométricos de la losa.....	118
Tabla 7 Volúmenes de las vigas tipo I principales de la estructura.....	123
Tabla 8 Volúmenes de las viguetas de alma abierta de la estructura.....	124
Tabla 9 Volúmenes de las columnas de la estructura. ....	125
Tabla 10 Pesos promedio de mampostería de bloque por unidad de superficie. ....	126
Tabla 11 Componentes de la carga de acabados .....	127
Tabla 12 Cargas permanentes aplicadas en los pisos intermedios .....	129
Tabla 13 Cargas permanentes aplicadas en el piso de cubierta.....	129
Tabla 14 Cargas temporales presentes en la edificación .....	130
Tabla 15 Parámetros para el cálculo del espectro de diseño de aceleraciones. ....	140
Tabla 16 Calculo de la carga sísmica reactiva según la NEC-SE-DS 2015. ....	143
Tabla 17 Parámetros calculados para las cargas sísmicas laterales para ambas edificaciones. ....	145
Tabla 18 Calculo de la carga sísmica reactiva según la NEC- 2015, de ambas edificaciones. ....	146
Tabla 19 Estratigrafía del área de estudio de las dos estructura. ....	152
Tabla 20 Grafica Frecuencia (Hz) vs. Velocidad de fase (m/s) del método activo. ....	153

Tabla 21 Graficas de velocidad de ondas de corte (m/s) Vs. Profundidad (m) para el método activo.....	154
Tabla 22 Gráfica de la curva de dispersión del método pasivo para ambos bloques...	155
Tabla 23 Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s) correspondiente al metodo pasivo .....	156
Tabla 24 Graficas de velocidad de ondas de corte (m/s) Vs. Profundidad (m) del método pasivo .....	158
Tabla 25 Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s) correspondiente al metodo combinado.....	159
Tabla 26 Grafica correspondiente a: Velocidad de onda de corte (m/s) vs. Profundidad (m) del metodo combinado .....	160
Tabla 27 Velocidad de ondas de corte a los 30 metros y tipo de suelo de los bloques G y H, UFA-ESPE.....	161
Tabla 28 Tipos de Perfil de Suelo según la NEC-SE-DS 2015 .....	162
Tabla 29 Clasificación del tipo suelo de las dos edificaciones de estudio .....	163
Tabla 30 Puntos de mayor concentración de energía .....	167
Tabla 31 Frecuencias fundamentales de los suelos de las edificaciones.....	168
Tabla 32 Valores de frecuencia fundamental y del periodo de vibración del suelo de las dos estructuras. ....	169
Tabla 33 Correlación entre clases de suelo, $T_0$ y rangos de velocidades $V_{s30}$ . ....	169
Tabla 34 Registro de las lecturas del esclerómetro del antepecho sin recubrimiento ..	175
Tabla 35 Gráficas de los valores de rebote de cada edificación sin considerar el recubrimiento .....	176
Tabla 36 Registro de las lecturas del esclerómetro del antepecho con recubrimiento. ....	177
Tabla 37 Gráficas de los valores de rebote de cada edificación considerando el recubrimiento .....	178

Tabla 38 Resultados para la resistencia a la compresión $f_c$ de los antepechos de las edificaciones .....	179
Tabla 39 Tipos de sistema estructural .....	188
Tabla 40 Resultados de la Metodología NEC-2015.....	194
Tabla 41 Coordenadas geográficas de referencia de las edificaciones evaluadas .....	202
Tabla 42 Información geotécnica de la zona de emplazamiento Bloque G y Bloque H. .....	203
Tabla 43 Niveles de sismicidad .....	204
Tabla 44 Valores de $S_s$ y $S_1$ en base a la curva de peligrosidad sísmica de la zona. .	205
Tabla 45 Interpretación de $S_s$ y $S_1$ .....	206
Tabla 46 Tipos de suelos FEMA P-154.....	209
Tabla 47 Separación mínima entre estructuras adyacentes .....	211
Tabla 48 Irregularidades estructurales en elevación FEMA P-154 .....	212
Tabla 49 Irregularidades estructurales en planta FEMA P-154.....	213
Tabla 50 Tipos de sistema estructural .....	215
Tabla 51 Tipos de sistema estructural .....	226
Tabla 52 Tipos de sistema estructural .....	234
Tabla 53 Valores del índice de amenaza (IA) .....	243
Tabla 54 Índices de vulnerabilidad ( $I_i$ ) y pesos relativos ( $\alpha_i$ ).....	244
Tabla 55 Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad adaptados para Ecuador ( $I_1$ ) .....	245
Tabla 56 Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural ( $I_2$ ) .....	246
Tabla 57 Valores del índice de vulnerabilidad asociado a irregularidades ( $I_3j$ ) .....	248
Tabla 58 Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito (I4) .....	250

Tabla 59 Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y a los drenajes (I5) .....	251
Tabla 60 Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I6) .....	252
Tabla 61 Cálculo del índice de vulnerabilidad para ambos bloques. ....	254
Tabla 62 Clasificación según el uso del edificio .....	255
Tabla 63 Valores del Índice de Importancia, II.....	256
Tabla 64 Índice de Priorización y Riegos de las edificacionesdel Bloque G y H .....	256
Tabla 65 Valoración del Índice de Vulnerabilidad, IV .....	257
Tabla 66 Valoración del Índice de Riesgo, IR .....	257
Tabla 67 Valoración del Índice de Priorización, IP .....	258
Tabla 68 Puntaje base según el Año de Construcción .....	262
Tabla 69 Grados de vulnerabilidad para GV1, GV2 y GV3 .....	263
Tabla 70 Grado de vulnerabilidad por número de pisos .....	264
Tabla 71 Grado de vulnerabilidad por golpeteo .....	265
Tabla 72 Grado de vulnerabilidad por adyacencia .....	265
Tabla 73 Grado de vulnerabilidad por adyacencia .....	266
Tabla 74 Grado de vulnerabilidad por tipo de perfil de suelo .....	267
Tabla 75 Grado de perfil de suelo según la NEC-15 .....	267
Tabla 76 Grado de vulnerabilidad por relación largo ancho .....	269
Tabla 77 Irregularidades en Planta .....	270
Tabla 78 Grado de vulnerabilidad por irregularidad en planta .....	271
Tabla 79 Irregularidades en Planta .....	272
Tabla 80 Grado de vulnerabilidad por irregularidad en elevación .....	273
Tabla 81 Guía para identificar ampliaciones verticales y horizontales.....	274
Tabla 82 Grados de vulnerabilidad por ampliaciones verticales .....	276
Tabla 83 Grados de vulnerabilidad por ampliaciones horizontales .....	276

Tabla 84 Tipos de condiciones para elementos metálicos .....	277
Tabla 85 Tipos de condiciones para elementos madera .....	278
Tabla 86 Grietas en vigas.....	278
Tabla 87 Grado de vulnerabilidad patologías en vigas.....	279
Tabla 88 Grado de vulnerabilidad patologías en columnas.....	280
Tabla 89 Guía para identificar grietas en losas.....	281
Tabla 90 Grado de vulnerabilidad por grietas en losas de entepiso y cubiertas planas .....	281
Tabla 91 Guía para identificar grietas en paredes.....	282
Tabla 92 Grado de vulnerabilidad por patología en paredes.....	283
Tabla 93 Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales externos .....	284
Tabla 94 Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales internos .....	285
Tabla 95 Grado de vulnerabilidad por estado de la edificación.....	286
Tabla 96 Grado de vulnerabilidad por estado de conservación de cubiertas .....	287
Tabla 97 Grado de vulnerabilidad por puertas de salida o emergencia .....	288
Tabla 98 Grado de vulnerabilidad por ventanas .....	289
Tabla 99 Grado de vulnerabilidad por accesibilidad inclusiva .....	290
Tabla 100 Factor de influencia para GV en función del puntaje base.....	291
Tabla 101 Grado de vulnerabilidad sísmica.....	291
Tabla 102 Grado de Capacidad de Respuesta.....	292
Tabla 103 Grado de Capacidad de Respuesta.....	293
Tabla 104 Nivel de exposición a la amenaza.....	294
Tabla 105 Categoría de unidades militares según el Riesgo Global.....	296
Tabla 106 Vulnerabilidad total de los Bloques.....	298
Tabla 107 Riesgo Global .....	298

Tabla 108 Resultados de la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones. ....	300
Tabla 109 Selección de señales obtenidas de los acelerómetros en la configuración de cada de cada edificación para procesamiento en el programa MATLAB .....	316
Tabla 110 Frecuencias obtenidas en el programa Geopsy .....	319
Tabla 111 Modos de vibración expresados en frecuencia y período para cada uno de los bloques .....	323
Tabla 112 Clasificación de los valores de Rigidez.....	324
Tabla 113 Modos de vibración expresados en frecuencia y período para cada uno de los bloques.....	324
Tabla 114 Resumen del proceso de obtención de datos a partir de registros acelerográficos.....	325
Tabla 115 Factores de correlación para los tipos de acero .....	334
Tabla 116 Secciones de columnas .....	334
Tabla 117 Vigas Bloque G y H .....	336
Tabla 118 Combinaciones de cargas adoptadas.....	349
Tabla 119 Períodos y frecuencias entregadas por el Software ETABS .....	356
Tabla 120 Períodos y frecuencias comparativas del Bloque G .....	359
Tabla 121 Períodos y frecuencias comparativas del Bloque H .....	359
Tabla 122 Modificadores de inercias para la configuración A .....	361
Tabla 123 Modificadores de inercias para la configuración B .....	364

## Índice De Figuras

Figura 1 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. ....	52
Figura 2 Zona de convergencia de las placas: Sudamericana, Nazca y bloque Norandino.....	53
Figura 3 Valores de $\Delta M$ máximos, expresados como fracción de la altura de piso según NEC-15.....	54
Figura 4 Valores de $\Delta M$ máximos, expresados como fracción de la altura de piso según el CEC.....	54
Figura 5 Metodología operativa de la refracción sísmica .....	56
Figura 6 Diagrama equivalente de un grado de libertad.....	64
Figura 7 Curva de capacidad. ....	66
Figura 8 Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad .....	66
Figura 9 Diagrama equivalente de múltiples grados de libertad. ....	69
Figura 10 Espectro elástico de aceleración. ....	78
Figura 11 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	80
Figura 12 Coeficiente de importancia estructural .....	81
Figura 13 Configuraciones estructurales recomendadas .....	82
Figura 14 Configuraciones estructurales no recomendadas .....	83
Figura 15 Coeficientes de irregularidad en planta .....	83
Figura 16 Coeficientes de irregularidad en elevación.....	84
Figura 17 Linealización equivalente .....	86
Figura 18 Rótulas plásticas en estructura.....	87
Figura 19 Límites de deformación unitaria.....	88
Figura 20 Excitación y respuesta de un sistema 1gdl.....	90
Figura 21 Excitación de Sistema 1gdl.....	94

Figura 22 Modelo tipo péndulo invertido .....	96
Figura 23 Movimiento Armónico Simple (M.A.S) .....	97
Figura 24 Ubicación de los dos bloque analizados en el proyecto UFA-ESPE. ....	103
Figura 25 Fachada lateral del bloque G de aulas y laboratorios de computacion UFA-ESPE.....	106
Figura 26 Fachada lateral del bloque H de aulas y laboratorios de computacion UFA-ESPE.....	106
Figura 27 Vista aerea de los bloques G y H, de las aulas y laboratorios de computación UFA-ESPE .....	107
Figura 28 Planos de la cimentación y columnas del Bloque G y H. ....	108
Figura 29 distribucion en planta del bloque H de la UFA-ESPE. ....	109
Figura 30. Pórticos de la estructura. a) Pórtico en sentido “x”. b) Pórtico en sentido “y”. .....	110
Figura 31 Detalle de columna con su cimientacon respectiva de los bloque G y H de UFA-ESPE. ....	111
Figura 32 Detalle de Viga de Alma abierta de la estructura de los bloques G y H, UFA-ESPE.....	116
Figura 33 Corte de la losa tipo deck de las edificaciones.....	117
Figura 34 Detalle del conjunto de viguetas, losa y columna de las edificaciones del Proyecto. ....	118
Figura 35 Modelos en 3D de las edificaciones UFA-ESPE. a) Bloque H b) Bloque G	120
Figura 36 Carga de peso propio según la altura de losa .....	122
Figura 37 Factores de reducción de resistencia sísmica R. ....	131
Figura 38 Factores de reducción de resistencia sísmica R. ....	132
Figura 39 Dimensiones entre porticos de los bloques G y H UFA-ESPE .....	134
Figura 40 Poblaciones ecuatorianas y valor de Z.....	136

Figura 41 Tipos de suelo y factores de sitio Fa. ....	137
Figura 42 Tipos de suelo y factores de sitio Fd .....	138
Figura 43 Tipos de suelo y factores de sitio Fs.....	138
Figura 44 Coeficientes Ct y $\alpha$ según el tipo de estructura.....	139
Figura 45 Espectro elástico e inelástico horizontal de diseño de los bloques G y H....	143
Figura 46 Sismógrafo .....	147
Figura 47 Cable de los geófonos.....	147
Figura 48 Martillo y cable de extensión.....	148
Figura 49 Geófonos .....	148
Figura 50 Cable de extensión para el martillo.....	148
Figura 51 Placa de metal.....	148
Figura 52 Cinta métrica .....	149
Figura 53 Fuente de energía: Sismógrafo .....	149
Figura 54 Geofonos conectados y alienados para realizar el ensayo.....	150
Figura 55 Equipo conectado correctamente de refracción sísmica .....	150
Figura 56 Geometría de la línea de refracción.....	151
Figura 57 Velocímetro triaxial amplificado SARA .....	164
Figura 58 Consideraciones para el uso del equipo SARA.....	165
Figura 59 Equipo SARA ubicado correctamente. Con el eje Y y el nivel circular .....	165
Figura 60 Software SEISMOWIN para tomar lectura del ruido ambiental .....	166
Figura 61 Mapa de microzonificación sísmica de los suelos del distrito. ....	170
Figura 62 Mampostería de la primera planta bloque G. ....	172
Figura 63 Martillo tipo Schmidt (Esclerómetro) .....	173
Figura 64 Ensayo de esclerómetro en mampostería del primer piso. a) Bloque G y b) Bloque H .....	174
Figura 65 Pachómetro marca BOSCH .....	180

Figura 66 Cuatro (4) pilas doble A.....	180
Figura 67 Verificación si existen varillas en los antepechos de las edificaicones. a) Bloque G, b) Bloque H.....	181
Figura 68 Formulario para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una estructura .....	184
Figura 69 Recopilación de datos: Datos de la edificación y datos del evaluador a) Bloque G, b) Bloque H.....	185
Figura 70 Recopilación de datos: Esquema estructural en planta y elevacion de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	186
Figura 71 Recopilación de datos: Fotografía. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	187
Figura 72 Tipología utilizada en la construcción del los bloques G y H. ....	189
Figura 73 Valoración de los modificadores. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	190
Figura 74 Puntaje final,S y Grado de vulneranilidad sísmica. a) Bloque G, b) Bloque H. .....	192
Figura 75 Observaciones. a) Bloque G, b) Bloque H.....	193
Figura 76 Formulario 1 para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una estructura. .....	198
Figura 77 Formulario 2 para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una estructura. ....	199
Figura 78 Valores de $S_s$ , $S_1$ y PGA en base de la curva de peligro sísmico de la zona206	
Figura 79 Formularios de evaluación estructural para zona de nivel de sismicidad muy alto, (a) Formulario Nivel 1, (b) Formulario Nivel 2 (opcional) .....	207
Figura 80 Datos de inicio del Formulario "Nivel 1" FEMA P-154. a) Bloque G, b) Bloque H.....	208
Figura 81 Fotografías y croqus de los edificios evaluados. a) Bloque G, b) Bloque H.	210

Figura 82 Datos complementarios del Formulario "Nivel 1" de la FEMA P-154. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	214
Figura 83 Selección de modificadores. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	217
Figura 84 Alcance de la revisión. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	220
Figura 85 Alcance de la revisión. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	220
Figura 86 Otros peligros. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	221
Figura 87 Acciones requeridas. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	222
Figura 88 Formulario Nivel 2 – Parte 1. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	223
Figura 89 Formulario Nivel 2 – Parte 2. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	224
Figura 90 Formulario Nivel 2 – Parte 3. a) Bloque G, b) Bloque H. ....	225
Figura 91 Plantilla de inspección de edificaciones de conformidad con FUNVISIS .....	229
Figura 92 Parte 1- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H. ....	231
Figura 93 Parte 2- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H. ....	233
Figura 94 Parte 3- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H. ....	235
Figura 95 Junta de separación entre edificaciones.....	236
Figura 96 Fachadas laterales de las edificaciones a) Bloque G, b) Bloque H.....	237
Figura 97 Parte 4- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H. ....	238
Figura 98 Croquis de ubicación las edificaciones.....	239
Figura 99 Vistas laterales de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H.....	240
Figura 100 Vistas en planta de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H.....	241
Figura 101 Construcciones considerando vulnerabilidad asociada a la topografía (I <sub>5</sub> ). ....	251
Figura 102 Cables conectores para la fuente de poder y el computador.....	304
Figura 103 Dispositivo de adquisición de datos National Instruments .....	304
Figura 104 Módulo para 4 canales, National Instruments .....	305
Figura 105 Acelerómetro piezométrico .....	305
Figura 106 Computadora portátil.....	305

Figura 107 Cable coaxial, conexión BNC, 50 Ohm, conexión sensor a DAQ.....	305
Figura 108 Extensión de cable. Cable coaxial conector de 50 pies.....	306
Figura 109 Cubos metálicos.....	306
Figura 110 Metadata de las edificaciones. a)Bloque G, b) Bloque H.....	307
Figura 111 Colocación de acelerómetros en lo mas cercano de union viga-columna..	309
Figura 112 Vista en elevación de la ubicación de los acelerómetros. a) Bloque G, b) Bloque H .....	310
Figura 113 Sensores conectados al DAQ.....	311
Figura 114 Recolección de Datos de las edificaciones .....	312
Figura 115 Proceso de ventaneo en sentido X; a) Bloque G, b)Bloque H.....	313
Figura 116 Proceso de ventaneo en sentido Y; a) Bloque G, b)Bloque H.....	314
Figura 117 Espectro de respuesta para cada ventana en sentido X; a)Bloque G, b)Bloque H .....	317
Figura 118 Espectro de respuesta para cada ventana en sentido Y; a)Bloque G, b)Bloque H .....	318
Figura 119 Herramientas de identificación para la configuración Bloque G en sentido X .....	320
Figura 120 Herramientas de identificación para la configuración Bloque G en sentido “y” .....	320
Figura 121 Herramientas de identificación para la configuración del Bloque H en sentido X .....	321
Figura 122 Herramientas de identificación para la configuración del Bloque H en sentido Y .....	321
Figura 123 Modo de Bloque G con su respectiva Forma modal y la herramienta compass con ángulos de fase .....	322

Figura 124 Modo de Bloque H con su respectiva Forma modal y la herramienta compass con ángulos de fase .....	323
Figura 125 Versión de ETABS 19.1.0 .....	329
Figura 126 Modelamiento en ETABS de las estructuras. a)Bloque G, b)Bloque H.....	330
Figura 127 Propiedades del hormigón .....	332
Figura 128 Propiedades del Acero A36 .....	333
Figura 129 Secciones tubulares (Columnas). a) Sección de 300x300x22 b) Sección de 300x300x16.....	335
Figura 130 Viga perfil tipo I (VA) .....	336
Figura 131 Viga perfil tipo I (VC) .....	337
Figura 132 Viga perfil tipo I (VD) .....	337
Figura 133 Losa Desck de las estructuras.....	338
Figura 134 Viga equivalente a la vigueta tipo celosia.....	339
Figura 135 Viga equivalente a la vigueta tipo celosia con sus respectivas deflexiones. a) viga equivalente, b) vigueta tipo celosia.....	339
Figura 136 Seccion de viguetas equivalentes para las estructuras .....	340
Figura 137 Sección de la viga equivalente perfil tipo I.....	341
Figura 138 Diafragma para cada piso .....	341
Figura 139 Diafragma Piso 1 .....	342
Figura 140 Espectro de respuesta NEC 2015 para suelo tipo D.....	343
Figura 141 Detalle de carga de viento ASCE 7-10.....	344
Figura 142 Sismo estático en X.....	345
Figura 143 Sismo estático en Y.....	346
Figura 144 Patrones de carga.....	346
Figura 145 Definición de masa.....	347
Figura 146 Caso de carga: Sismo dinámico en X.....	347

Figura 147	Caso de carga: Sismo dinámico en Y.....	348
Figura 148	Combinaciones de carga .....	350
Figura 149	Factor de rigidización por zona de valor 0,5.....	351
Figura 150	Estructuras analizadas, bloque G y H .....	352
Figura 151	Asignación de rótulas .....	353
Figura 152	Rótulas asignadas en viguetas .....	354
Figura 153	Derivas de piso. a) Sentido “x”, b) Sentido “y” .....	354
Figura 154	Modos de vibrar. a) Sentido “y”, b) Sentido “x”, c) Sentido “z” o torsión.....	357
Figura 155	Caso de carga permanente no lineal.....	361
Figura 156	Caso de carga PUSHOVER para la configuración A. a) sentido X y b) sentido Y .....	362
Figura 157	Asignación de rótulas plásticas en vigas .....	362
Figura 158	Asignación de rótulas plásticas en columnas.....	363
Figura 159	Modelo con rótulas plásticas en columnas y vigas .....	363
Figura 160	Caso de carga PUSHOVER para la configuración B. a) PUSHOVER X y b) PUSHOVER Y .....	364
Figura 161	Estado de daño y nivel de desempeño.....	365
Figura 162	Pórtico C – Sentido X.....	366
Figura 163	Curva de capacidad Cortante vs Desplazamiento .....	367
Figura 164	Curva de linealización equivalente del Boque G y H en sentido X .....	367
Figura 165	Pórtico1 sentido Y .....	368
Figura 166	Curva de capacidad – Cortante vs Desplazamiento .....	369
Figura 167	Curva de linealización - Bloque G y H en sentido Y.....	369
Figura 168	Pórtico E Sentido X .....	370
Figura 169	Curva de capacidad - Bloque G y H en sentido X.....	371
Figura 170	Curva de linealización equivalente - Bloque G y H en sentido X.....	371

Figura 171	Pórticos sentido Y: a) pórtico D, b) pórtico H .....	372
Figura 172	Curva de capacidad – Congifuración B Sentido Y .....	373
Figura 173	Curva de linealización equivalente – Configuración B sentido Y.....	373

## Resumen

El presente trabajo abarca el análisis de vulnerabilidad estructural en dos edificaciones que corresponden a los bloques G y H, de la Universidad de las fuerzas armadas, UFA-ESPE campus Sangolquí. La caracterización de las dos edificaciones se presenta desde una perspectiva arquitectónica, estructural, geotécnica y un modelamiento 3D mediante el software Revit. Se desarrollaron ensayos como sísmica de refracción y Nakamura en el suelo aledaño donde se encuentran las edificaciones para determinar los tipos de suelo que están emplazados, los bloques G y H pertenecen un suelo tipo D, además el ensayo de Nakamura nos permitió conocer el periodo de vibración del suelo donde está asentada cada estructura. Aplicando distintas metodologías como: NEC-15, FEMA P-154, FUNVISIS, se determinó que ambas edificaciones tienen una alta vulnerabilidad por ende requieren de una evaluación especial, además se aplicó una cuarta metodología que corresponde a la FEMA P-1000 esta es encargada especialmente de edificaciones destinadas a la educación como es el caso de los bloques G y H del presente trabajo. Se realizó la instrumentación de las edificaciones para determinar de manera experimental el periodo fundamental de cada estructura para comparar con los resultados obtenidos de manera analítica. Se modeló a través del Software ETABS el cual nos entrega datos referentes a derivas de piso, periodos y modos de vibrar de la estructura siendo estos un total de 12, de los cuales se analiza los 3 primeros, comparando con los resultados obtenidos en campo correspondiente al ensayo de vibración ambiental, de igual manera se realiza el análisis no lineal el cual nos entrega los desplazamientos de la estructura tras aplicar una fuerza, se analizara en que categoría se encuentra analizando el estado de daño y nivel de desempeño.

*Palabras Clave:* vulnerabilidad estructural, metodología, modos de vibrar, vibración ambiental, instrumentación

### **Abstract**

The present work covers the analysis of structural vulnerability in two buildings that correspond to blocks G and H, of the University of the Armed Forces, UFA-ESPE campus Sangolquí. The characterization of the two buildings is presented from an architectural, structural, geotechnical and 3D modeling perspective using Revit software. Tests such as seismic refraction and Nakamura were developed in the surrounding soil where the buildings are located to determine the types of soil that are located, blocks G and H belong to a soil type D, in addition, the Nakamura test allowed us to know the vibration period of the ground where each structure is located. Applying different methodologies such as: NEC-15, FEMA P-154, FUNVISIS, it was determined that both buildings have a high vulnerability for which they require a special evaluation, in addition a fourth methodology was applied that corresponds to the FEMA P-1000, which It is especially in charge of buildings destined for education, as is the case of blocks G and H in this work. The instrumentation of the buildings was carried out to experimentally determine the fundamental period of each structure to compare with the results obtained analytically.

It was modeled through the ETABS Software which provides us with data regarding drifts of the floor, periods and modes of vibration of the structure, these being a total of 12, of which the first 3 are analyzed comparing them with the results obtained in the corresponding field. to the environmental vibration test, in the same way the non-linear analysis is carried out, which gives us the displacements of the structure after applying a force, it will be analyzed in which category it is located, analyzing the state of damage and level of performance

*Key words:* structural vulnerability, methodology, vibration modes, environmental vibration, instrumentation.

## Capítulo 1

### Generalidades

#### Introducción

Históricamente el Ecuador ha sido un país con una actividad sísmica significativa que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras y miles de personas fallecida (MIDUVI, 2016).

Por este motivo la actividad sísmica y sus afectaciones debe ser analizada cuidadosamente en las edificaciones de nuestro país con el fin de evitar daños y pérdidas humanas como lo sucedió a lo largo de años pasados. La nueva ingeniería de nuestro país se ve con la necesidad de realizar investigaciones permanentes en temas estructurales que reduzcan los riesgos sísmicos a partir de indagaciones enfocadas en la vulnerabilidad estructural de las edificaciones.

El análisis de vulnerabilidad estructural de una edificación consiste en un proceso mediante el cual, se puede obtener, cuantitativa o cualitativamente, desarrollando una serie de protocolos y con el uso de diferentes herramientas, la medida de susceptibilidad al daño que puede llegar a sufrir una estructura en base a sus condiciones actuales frente a un evento sísmico.

Los años de investigación estructural han revelado herramientas de alta calidad que han ayudado a obtener una determinación eficaz de la vulnerabilidad estructural, las más destacadas que serán utilizadas en el presente trabajo de investigación son: ensayos de determinación de propiedades físicas de suelos, evaluaciones visuales mediante metodologías internacionales y una nacional (metodología FEMA-P154, metodología FUNVISIS, metodología NEC-2015), instrumentación de edificaciones, entre otras.

El fin de aplicar estas herramientas de evaluación estructural es poder determinar el estado de funcionalidad de las edificaciones, es decir, si estas pueden

seguir en funcionamiento y de esta forma evitar pérdidas tanto materiales como humanas.

El presente trabajo de investigación propone la evaluación estructural de la vulnerabilidad sísmica de 2 edificaciones correspondientes al campus matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, con el fin de obtener el grado de vulnerabilidad presente en las mismas.

### **Antecedentes**

La evaluación de la vulnerabilidad estructural de nuestro país es un tema de poca consideración, tal como lo expresa la normativa Ecuatoriana de la Construcción: “La evaluación del riesgo sísmico no es obligatoria en el Ecuador, ni requisito previo a la transferencia de bienes inmuebles o su aseguramiento” (MIDUVI, 2016)

Esto es un preludio de nuestra realidad actual que requiere que el análisis de vulnerabilidad estructural sea un requisito importante para obtener un permiso de operación en las estructuras, y dado que nuestro país se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, estos estudios deben ser parte de un proyecto estructural.

Una de las soluciones que tenemos a nuestro alcance en nuestro país es aplicar las metodologías de evaluación visual, dichas metodologías nos arrojan una cuantía inicial de vulnerabilidad. Como comentaron Sarmah & Sutapa (2017) en su estudio de vulnerabilidad realizado en Guwahati, ciudad donde se evaluó con la metodología FEMA que “Es esencial para la formulación de políticas a nivel local, para que las autoridades municipales prioricen los edificios de alto riesgo sísmico, para proponer medidas correctivas apropiadas como adaptaciones o reemplazo, estas investigaciones complementan los códigos desarrollados para la construcción de nuevas edificaciones” (Sarmah & Sutapa, 2017).

Para que un análisis de vulnerabilidad estructural sea satisfactorio y además de realizar una evaluación rápida visual empleando metodologías de inspección, es

indispensable conocer y obtener las propiedades de la estructura como son, el periodo fundamental y los modos de vibración para poder hacer juicios precisos y válidos sobre lo que se requiere. En el trabajo de investigación de Arcentales y Yépez, denominado “Evaluación de la respuesta dinámica del hospital naval general HOSNAG sometido a vibración ambiental” de acuerdo con los autores de la investigación (Arcentales & Yépez, 2020) indican que:

A partir de los modos de vibración, que dependen de cada estructura, se determina el período fundamental de la edificación, siendo éste el mayor de todos los períodos encontrados, y al que se le atribuyen mayores deformaciones y esfuerzos. Para este propósito, se realiza la instrumentación usando diferentes fuentes de movimiento; sismos, vibración forzada y ambiental, siendo esta última la más frecuente.

En nuestro país, hoy en día podemos encontrar algunos estudios de vulnerabilidad que están asociados a la instrumentación en las edificaciones como es el proyecto de titulación de Arcentales & Yépez que fue ya mencionado en el parrafo anterior. Otro trabajo de investigación es el proyecto de titulación es “Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el campus sangolquí de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE” perteneciente a los autores López, Marcillo, Pilco & Villamizar, realizando un análisis detallado de la vulnerabilidad estructural de los Bloques A y B de la Residencia de Oficiales, y de los Bloques C y D de aulas en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. A través de la instrumentación de los edificios, se trata de un protocolo mediante el cual se determina una serie de pasos a seguir durante las pruebas experimentales para registrar datos de la estructura de los que se quiere obtener información, ya sea de movimiento o deformación.

Este trabajo de investigación, continuará esta serie de pasos instrumentando las estructuras a analizar empleando acelerómetros, los mismos que obtendrán un registro de ruido producido por el ambiente en las edificaciones para obtener los parámetros

antes propuestos y que serán detallados y explicados en este proyecto de investigación. Los parámetros experimentales serán comparados con los parámetros obtenidos mediante el uso de un software estructural, además de relacionar la inspección visual propuesta metodologías vigentes y los resultados mostrados tras la instrumentación de cada edificio.

## **Planteamiento del problema**

### ***Macro***

Las estructuras analizadas poseen cierto grado de exhibición ante movimientos telúricos debido a su condición estructural y su ubicación geográfica. Esto propone la necesidad analizar su comportamiento actual teniendo en cuenta diferentes metodologías para su evaluación respectiva.

Según (Asociación latinoamericana del Acero, 2018) menciona que:

En la actualidad la ingeniería sismorresistente dispone de soluciones adecuadas que permiten reducir el riesgo sísmico mediante el uso de distintos materiales estructurales, sistemas constructivos, dispositivos innovadores para el control de vibraciones, criterios de diseño y métodos de análisis confiables. Sin embargo, la reducción del riesgo sísmico no se ha alcanzado en forma uniforme a escala mundial. Ello se debe a distintas razones, algunas de las cuales no son de carácter técnico o ingenieril sino social, cultural y económico. Es por ello que uno de los mayores desafíos, particularmente en Latinoamérica, es lograr la implementación práctica de las soluciones que la ingeniería sismorresistente ha desarrollado tanto para construcciones nuevas como para la rehabilitación de estructuras existentes que no cumplen con los niveles de seguridad requeridos en la actualidad.

**Meso**

Durante la historia del Ecuador se han producido terremotos de grandes magnitudes, mismos que ocasionaron tanto pérdidas materiales como humanas resultado del colapso total o parcial de las estructuras, es por este motivo que nace la necesidad de realizar una evaluación ante un evento sísmico.

Para (OTAVALO ALBA, 2017)

El Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad debido a que el denominado “cinturón de fuego” atraviesa el país, el mismo que corrobora con los últimos eventos sísmicos ocurridos en el país, ya en las últimas décadas fue afectado por terremotos de gran magnitud. Es por esta razón que la coexistencia con la actividad sísmica pasó a ser parte de la cultura ecuatoriana. Grandes terremotos que ocurrieron acarrearón destrucción, daños a toda escala y lo más grave, pérdidas humanas, de ahí la importancia de presentar a la población, información adecuada para generar los mecanismos de mitigación apropiados en caso de suscitarse un terremoto.

**Micro**

En el presente Proyecto evaluaremos las estructuras correspondientes a los bloques G y H de aulas de laboratorio de computación, ubicados en Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, campus Sangolquí.

Dichos bloques fueron construidos en el año 2010 resultado de una ampliación a partir del bloque central que une a los bloques C y D. estas estructuras fueron construidas con materiales de acero de 36 ksi, antepechos y las paredes en general son de mampostería de bloques. Si bien estas estructuras fueron diseñadas y construidas en base del Código Ecuatoriano de la Construcción, este mismo código no contenía los parámetros completos para un diseño sismorresistente.

Resultado de estas dos ampliaciones, dichos bloques también están expuestos ante condiciones de peligro además de una vulnerabilidad, es así que surge la necesidad de continuar con la evaluación de riesgo de estas edificaciones como ya lo hicieron en proyectos de titulación anteriores ya mencionados. como primer punto a evaluar es el análisis de la vulnerabilidad estructural por medio de la evaluación del comportamiento de la estructura, también tomaremos de base las normativas FEMA P-154, la normativa NEC-15 misma que se fundamenta en la FEMA P-154 y la normativa FUNVISIS. Finalmente se procederá a instrumentar los Bloques G y H, para obtener valores experimentales que serán procesados y validados con los resultados y las metodologías de las normativas mencionadas.

### **Justificación e Importancia**

Determinar el grado de vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes es un aspecto primordial en nuestra región, ya que el índice nos permitirá interpretar el riesgo de colapso de una edificación en particular ante fenómenos naturales de naturaleza sísmica. Hay muchos parámetros que afectan el comportamiento dinámico de la estructura, algunos más importantes que otros. Todos estos parámetros se dividen en diferentes categorías, según el entorno físico en el que se encuentren. Algunas de las categorías principales son sociales, económicas, del suelo, estructurales y sismológicas.

De acuerdo a (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021) manifestaron que:

La valoración de la vulnerabilidad sísmica de una edificación puede llevarse a cabo por métodos cualitativos y cuantitativos, entre estos dos tipos de evaluación existen dos grandes diferencias, la primera es el tiempo de ejecución, y la segunda es el nivel de asertividad; los métodos cualitativos presentan bajos tiempos de aplicación pero su margen de asertividad es variable, mientras que

los métodos cualitativos requieren un mayor tiempo para su ejecución pero presentan resultados más exactos.

Aplicar la instrumentación sísmica en edificios permite a los evaluadores obtener una visión clara y amplia del comportamiento dinámico que es probable que experimente la estructura en caso de un evento sísmico a gran escala. Cabe resaltar que los resultados obtenidos de este análisis son de carácter experimental y, por tanto, conllevan un alto riesgo de error. Dado este problema, es fundamental validar estos resultados con modelos matemáticos computacionales.

La determinación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones dentro del campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas es de carácter imprescindible, principalmente por el alto riesgo sísmico de la zona y en segundo lugar por la importancia de las estructuras que son instalaciones ocupadas por una entidad de educación superior. Dependiendo de la vulnerabilidad de la edificación se toman diferentes acciones preventivas o correctivas, que pueden ser de refuerzo estructural o en su caso, demolición e inutilización de la estructura; si la estructura no presenta un alto grado de vulnerabilidad, todas las acciones mencionadas no son necesarias.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Determinación de la vulnerabilidad estructural de dos edificaciones del Campus Sangolquí, usando las metodologías NEC-15, FEMA P-154 y FUNVISIS, comparadas con otras metodologías, y validadas con resultados experimentales por instrumentación sísmica.

### ***Objetivos específicos***

- Realizar un sustento teórico de la vulnerabilidad estructural enfocado a los casos de estudio.

- Crear un modelamiento de las edificaciones mediante el software Revit para lograr obtener imágenes 3D.
- Aplicar ensayos geotécnicos para determinar el tipo de suelo por medio de la velocidad de onda de corte en los primeros treinta metros de profundidad, y el periodo de vibración del suelo.
- Evaluar la vulnerabilidad estructural del Bloque G de aulas del Campus Matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, usando las metodologías NEC-15, FEMA P-154 Y FUNVISIS.
- Evaluar la vulnerabilidad estructural del Bloque H de aulas del Campus Matriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, usando las metodologías NEC-15, FEMA P-154 Y FUNVISIS.
- Realizar el ensayo de vibración ambiental mediante la instrumentación de las 2 edificaciones con el uso de acelerómetros, para obtener los modos fundamentales de vibrar y sus frecuencias.
- Validar los resultados de la evaluación estructural cualitativa de las dos edificaciones por instrumentación sísmica, se obtendrá resultados experimentales.
- Realizar modelos analíticos computaciones mediante el software ETABS y validarlos con los resultados experimentales.
- Interpretar los diferentes resultados obtenidos de las diferentes evaluaciones estructurales para determinar un nivel de vulnerabilidad estructural general para las edificaciones del Bloque G y Bloque H.

## **Descripción del contenido**

### ***Capítulo 1***

En esta sección se muestra un panorama general, completo y conciso, del presente proyecto a desarrollarse, teniendo en cuenta aclarar respuestas a las interrogantes: ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué?; marcando el inicio del proyecto, mostrando cada detalle de las diferentes actividades a realizarse para cumplir con los objetivos planteados, además se delimita el alcance del proyecto planteado.

### ***Capítulo 2***

En este capítulo cita toda la teoría necesaria para lograr el desarrollo del proyecto. En la teoría requerida también se cita las diferentes normas utilizadas del análisis estructural cualitativo y cuantitativo. Adicional, se indica la información necesaria para implementar las tres (3) metodologías de evaluación de vulnerabilidad estructural en el Ecuador.

### ***Capítulo 3***

Este capítulo está basado en la caracterización de las dos (2) edificaciones analizadas, detallando su configuración geométrica general y específica de cada una. Además, se presentan los resultados de los ensayos no destructivos llevados a cabo, se presenta las propiedades geotécnicas de la zona donde se ubican los edificios.

### ***Capítulo 4***

Dentro de este apartado se detalla la aplicación de las tres (3) metodologías de evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, conjunto con sus respectivos resultados. Además, se aplicará una cuarta metodología y posteriormente sus resultados serán comparados con las demás metodologías. También se presentan observaciones y recomendaciones para ayudar al evaluador a tener una mejor aplicabilidad de las cuatro metodologías en el Ecuador.

**Capítulo 5**

En este capítulo se detalla el proceso de los ensayos de instrumentación sísmica realizados en cada edificación y sus resultados, con el fin de determinar sus propiedades dinámicas, que son: las frecuencias y periodos fundamentales, y modos de vibrar; con el objetivo de indicar el comportamiento dinámico de las edificaciones ante un evento sísmico.

**Capítulo 6**

Este capítulo presenta los modelos numéricos computacionales de las edificaciones evaluadas. El objetivo es comparar los resultados experimentales de los capítulos 4 y 5, con los resultados obtenidos de los modelos numéricos realizados en el software ETABS y validarlos. El software únicamente determina las propiedades dinámicas de la estructura en base a los parámetros que el evaluador ingrese durante el modelamiento.

**Capítulo 7**

Dentro de este apartado se indican las conclusiones y recomendaciones que se fueron considerando importantes a lo largo del desarrollo del presente proyecto, con el propósito que sean de ayuda y referencia para los siguientes trabajos de investigación que se presenten en futuros años.

## **Capítulo 2**

### **Marco teórico**

#### **Riesgo sísmico**

Son todas consecuencias sociales y económicas potenciales que fueron provocadas por un movimiento telúrico, dando como resultado la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue superada por un sismo.

Según (Caballero Guerrero, 2007) señala:

El riesgo sísmico se define como el grado esperado de pérdidas sufridas por una estructura o grupo de estructuras en riesgo, durante el período de exposición considerado. Es así que, los estudios de riesgos sísmicos a partir de la observación y el análisis de los daños provocados por terremotos han aumentado considerablemente desde los años 80, en los cuales se han presentado terremotos devastadores, que han sido la causa del origen de proyectos, seminarios e investigaciones en todo el mundo.

El riesgo sísmico entonces; depende principalmente de la vulnerabilidad y la peligrosidad, es decir, los elementos de una zona específica donde el riesgo sísmico puede verse afectado en mayor o menor magnitud dependiendo de la vulnerabilidad sísmica a la que se presenten, dando como resultado un nivel de riesgo sísmico mayor para algún riesgo sísmico en esa ubicación.

#### **Riesgo sísmico en el Ecuador**

El Ecuador posee una actividad sísmica elevada, pues, sus costas se extienden a lo largo de la zona de intersección entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental sudamericana. Se han producido terremotos de gran magnitud que han provocado daños considerables a la población e infraestructura del país. Se estima que las víctimas superan las 65000 desde la llegada de los españoles. La última actividad sísmica de gran magnitud 7,8 a la escala de Richter que se registró en el Ecuador fue el

16 de abril de 2016, y afectó principalmente a la provincia de Manabí y parte de la provincia de Esmeraldas. Estos eventos llegan a ser más desastrosos por la calidad y los procesos constructivos de las edificaciones porque fallan al momento del movimiento telúrico y son las causantes de la catástrofe, mas no el terremoto en sí, cuando un terremoto sucede se puede determinar las condiciones de vulnerabilidad que ya existían antes del evento natural.

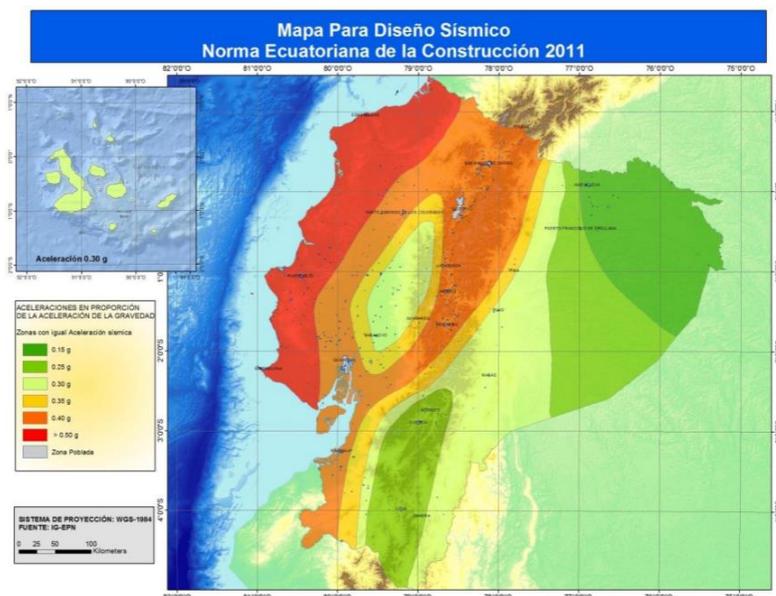
Basándonos en la normativa vigente en el país (NEC-15, 2015) hace referencia:

La situación del Ecuador no es distinta a la de otros países en fase de desarrollo, que al igual que el nuestro, experimentan un crecimiento rápido de su población y una urbanización intensa, lo que ha producido un crecimiento acelerado de las pérdidas causadas por los sismos. Por estas razones, el estudio del riesgo sísmico y su impacto en el desarrollo constituye un reto científico crucial para el siglo veinte y uno.

La mayoría del territorio del Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, como se evidencia en la Figura 1. Sumado a esto, la vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en ciudades con alta peligrosidad sísmica como Quito, Guayaquil y todas las ciudades costeras, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente y que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han sufrido un cambio en el tipo de uso, distinto al contemplado en el diseño. De ahí que se puede intuir que el riesgo sísmico es alto y debe ser considerado en la toma de decisiones.

**Figura 1**

*Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.*



*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

### Riesgo sísmico en Quito

Quito posee un alto riesgo sísmico, porque se encuentra en el valle interandino donde se han ocasionado un gran número de sismos. La ciudad de Quito ha sido afectada por movimientos telúricos bajo la ciudad, en la falla de Quito, y por grandes eventos sísmicos ocurridos a lo largo del valle interandino y en las cordilleras.

La última actividad sísmica de gran magnitud ocurrido en la capital fue en el 1868, dicho año Quito tenía una población de 45,000 habitantes. Hasta la actualidad el crecimiento apresurado de la ciudad dio como resultados estructuras de baja calidad, mismas que se construyeron en quebradas, rellenos, y laderas. Dando como resultados estructuras con alta vulnerabilidad y colapso ante un evento telúrico.

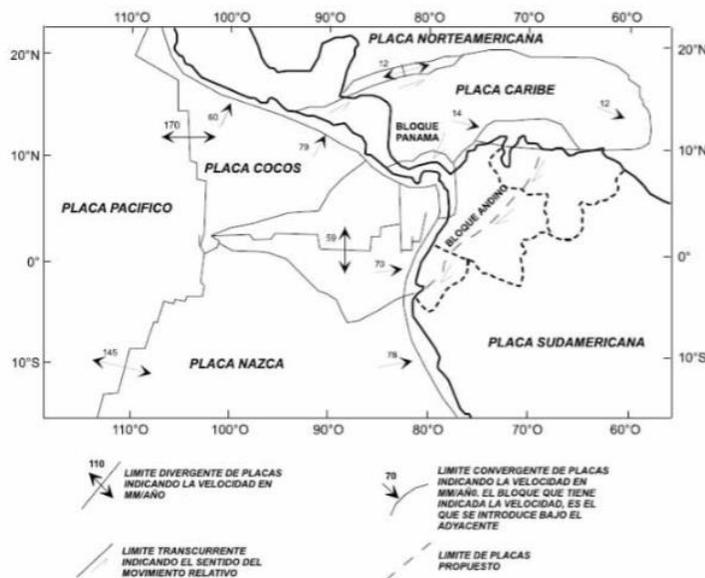
Basándonos en la investigación de (Naya, 2010):

Desde el punto de vista geodinámico, la actividad sísmica se produce debido a la interacción de las tres placas tectónicas: Nazca, Sudamericana y el bloque

Nor-andino (Figura 2), dando origen a los fenómenos de vulcanismo y de sismicidad (Segovia and Alvarado. 2009). El territorio de Ecuador está expuesto a tres tipos de terremotos: los terremotos de la subducción que ocurren superficialmente cerca de la costa, mientras que en el interior del país ocurren a grandes profundidades, (como el del 12 de agosto de 2010), los terremotos superficiales de la sierra, que son los que han afectado a Quito, y los terremotos relacionados con la actividad volcánica.

**Figura 2**

*Zona de convergencia de las placas: Sudamericana, Nazca y bloque Nor-andino.*



*Nota:* Recuperado de (Segovia & Alvarado, 2009)

## Derivas máximas, límites permisibles

### Según la NEC-15

En el código de construcción ecuatoriano en el apartado correspondiente al Diseño sismorresistente, (NEC-15, 2015) señala que, “la deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso”.

**Figura 3**

Valores de  $\Delta M$  máximos, expresados como fracción de la altura de piso según NEC-15

<b>Estructuras de:</b>	<b><math>\Delta_M</math> máxima (sin unidad)</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

**Según el Código Ecuatoriano de la Construcción**

Dado que la construcción y planificación estructural de las edificaciones en estudio del presente proyecto se realizaron con los códigos de construcción del Ecuador vigentes en ese momento en el año 2010, es necesario conocer los parámetros de diseño que se utilizaron en esta normativa.

Es por eso que, de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción expresa que la deriva no puede exceder los valores establecidos en la Figura 4.

**Figura 4**

Valores de  $\Delta M$  máximos, expresados como fracción de la altura de piso según el CEC

<b>Estructuras de</b>	<b><math>\Delta_M</math> máxima</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,020
De mampostería	0,010

Nota: Recuperado de (INEN, 2001)

**Caracterización de la edificación****Geotécnica.**

Fundamentado en (Avilés, 2013):

El estudio geológico geotécnico del subsuelo es un pilar fundamental en la construcción de estas obras de ingeniería, debido a que la presencia de

problemas geotécnicos implica la adopción de soluciones en general más costosas, por otro lado, unas condiciones geotécnicas favorables, proporcionan no solo una mayor seguridad a las obras, sino un desarrollo de las mismas sin imprevisto, lo que influye significativamente en los costos y plazos de ejecución.

A continuación, se presentan dos aspectos importantes en el estudio geotécnico descritos por (Guardo Polo, 1999):

Investigación del subsuelo: El cual abarca el estudio y conocimiento de su origen geológico, la exploración de campo y los ensayos de campo y laboratorio necesarios para cuantificar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del subsuelo.

Análisis de ingeniería: Comprende la interpretación técnica que permita la caracterización del subsuelo y la evaluación de los posibles mecanismos de falla que hagan posible suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de las cimentaciones y otras obras relacionadas con el subsuelo.

### ***Ensayo de refracción sísmica***

Este ensayo desarrolla de acuerdo con la norma (ASTM D5777, 2010)(Guía estándar para el uso del método de refracción sísmica para la investigación del subsuelo). Con el fin de identificar las propiedades del suelo del sector de estudio donde se encuentra ubicada la estructura se emplea el ensayo de refracción sísmica que permite obtener la velocidad de onda de corte del suelo ( $V_{S30}$ ), profundidad y espesor.

De acuerdo con (López, Mejía, & Vega, 2008):

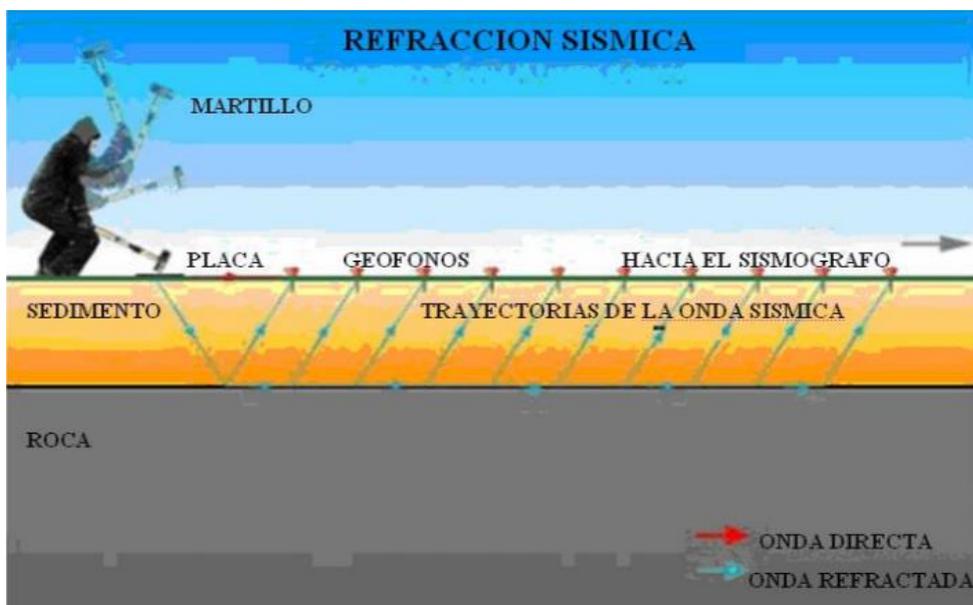
Es uno de los métodos más empleado en la investigación de formaciones rocosas, prospección petrolífera (tanto en tierra como el océano) e hidrogeología, ya que permite la obtención de información de capas muy profundas para la cuantificación de depósitos de roca y petróleo, determinación

de límites (hasta 100 m. de profundidad), saturación (contenido de agua) y porosidad de un acuífero, así como en la localización de saltos en fallas geológicas.

El método de refracción sísmica consiste en la medición del tiempo de viaje de la primera onda detectada (onda de compresión u onda P) en una serie de puntos (geófonos) separados a intervalos regulares a lo largo de una línea de referencia ubicada sobre la superficie de la tierra, llamada línea de inspección (ver Figura 3). Las ondas detectadas en cada receptor son originadas artificialmente a partir de una fuente de energía sísmica de tipo impulsiva en una ubicación estratégica conocida como punto de disparo. El conjunto de registros obtenidos de la realización del ensayo es recolectados, visualizados, revisados y almacenados por un equipo de adquisición de datos para formar parte de un expediente o archivo digital sobre el cual se realiza el respectivo procesamiento.

### Figura 5

*Metodología operativa de la refracción sísmica*



*Nota:* Recuperado de (Arandi Rodríguez, 2011)

### ***Ensayo de Nakamura***

En base a (Geoseismic, 2017):

El ensayo utiliza el método HVSR (también conocida como H/V por “horizontal – vertical” o método de Nakamura) utiliza un sismómetro (velocímetro) triaxial de banda ancha para grabar el ruido sísmico ambiental. Es considerada una técnica “pasiva” porque no requiere una fuente sísmica artificial, como explosivos o golpes de martillo. La relación HVSR mide las componentes vertical y horizontal del ruido sísmico inducido por el viento, oleaje, y actividades antropogénicas.

El análisis de las mediciones de este tipo permite identificar los modos de vibración del suelo además de identificar la frecuencia fundamental ( $f_0$ ) de esta vibración. Sabiendo que en general hay una relación simple entre  $f_0$ , el espesor de la parte más suave de la tierra (es decir, la porción del material que recubre la cama-rock) y la velocidad media ( $V_s$ ) de las ondas sísmicas en el subsuelo (obtenido por ejemplo a partir de los métodos de ondas superficiales), a través de las medidas HVSR se puede estimar al espesor de esta capa.

### ***Ensayos No destructivos***

Este tipo de ensayos nos permite conocer las propiedades de los materiales con los que se encuentra construida la estructura, sin necesidad de alterar sus propiedades físicas, químicas o mecánicas del elemento estructural (SCI Control e Inspección, s.f.). Con este ensayo se llega a estimar la resistencia al hormigón, y verificar el armado de los elementos estructurales.

### ***Ensayos Pachómetro***

Tiene como objetivo comprobar la armadura de los elementos estructurales, por lo cual se puede realizar un levantamiento preciso de columnas y vigas, conociendo el perímetro y la ubicación del armado longitudinal y transversal. Se validará con los planos estructurales.

A continuación, se presenta el principio de funcionamiento según lo explica (Andrade, Lozano, Seguí, Vincés, & Hernández, 1992):

La interacción entre los campos electromagnéticos y los conductores constituye el principio en el que se basan estos aparatos y que permiten la detección de forma no destructiva de la presencia de armaduras, así como su dirección y, en ocasiones, la magnitud del espesor de recubrimiento.

El principio se basa en la aplicación a la superficie del hormigón de un detector o palpador constituido por una bobina recorrida por una corriente alterna que genera un campo electromagnético. Cuando existe un conductor eléctrico en sus proximidades, se cierra el circuito y el conjunto actúa como un transformador, lo que se refleja en el paso de una corriente.

En el hormigón son ampliamente utilizados como detectores de armaduras y con algunos modelos más sofisticados, como medida no destructiva del espesor de recubrimiento (con más o menos error según los aparatos y hormigones).

### ***Ensayos esclerométrico (ASTM C 805)***

Conforme a la normativa ASTM C805/C805M (2013), la resistencia del hormigón depende totalmente de la relación que se haya utilizado al momento de mezclar sus materiales y de la cantidad de agua que se haya usado para conformar esta mezcla además de que se siguieran los parámetros adecuados en cuanto a vibrado y posicionamiento de los agregados gruesos y de la armadura del elemento estructural conformado de hormigón.

De acuerdo con (Rudeli & Santilli, 2017):

El esclerómetro es una herramienta para medir la resistencia a la compresión del hormigón endurecido. Consiste en soltar un martillo metálico que está tensado con un resorte contra la superficie del hormigón, y medir la distancia de rebote.

El martillo golpea a la superficie por medio de un percutor y el aparato arroja un

número de rebote que puede ser relacionado con la resistencia a la compresión del hormigón.

Según la norma ASTM C805/C805M (2013), esta relación depende de la dosificación del hormigón y del aparato utilizado. Existen dos tipos de esclerómetros: de alta resistencia o de baja resistencia. El esclerómetro de alta resistencia es el más utilizado para la medición de resistencias in situ de hormigones de avanzadas edades y comprobaciones de estados edilicios entre otros. Por otro lado, los esclerómetros de baja resistencia o martillos pendulares de Schmidt han sido concebidos para ejecutar ensayos en materiales más blandos que el hormigón endurecido, como puede ser paneles de yeso, hormigón fresco y mortero en las juntas de unión de mampostería.

ASTM C805/C805M (2013) menciona que cuando el martillo es arrojado, con una determinada energía inicial, e impacta contra la superficie del hormigón, se produce una redistribución de esta energía: una parte es absorbida como fricción dentro del aparato, otra es liberada como energía de deformación del hormigón y la restante se convierte en energía cinética del martillo. Por lo tanto, la distancia de rebote del martillo es una medida de la deformación del hormigón, ya que depende de esta energía de movimiento restituida, la cual está relacionada con la deformación del mismo (y así de su resistencia superficial).

### **Análisis estructural**

De acuerdo con lo descrito en (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2014):

El Análisis de Estructuras es, en un sentido amplio y contemporáneo, el conjunto de métodos y técnicas que permite evaluar, en primer lugar, la viabilidad de las estructuras que se diseñan y, en segundo lugar, el grado de satisfacción de los (múltiples) criterios de diseño. En un sentido más específico y clásico, el Análisis

de Estructuras se ocupa de la validación del comportamiento mecánico de las estructuras, en las distintas etapas que estas atraviesan.

El Análisis de Estructuras tiene como objetivo fundamental determinar la respuesta de las estructuras cuando éstas se ven sometidas a las diferentes acciones que deben soportar durante su construcción y vida útil. Por “respuesta estructural” se entiende, básicamente, la determinación de los estados de tensión y deformación a los que la estructura va a estar sometida por efecto de los diferentes estados de carga que se consideran. La determinación de los estados de tensión es necesaria de cara a satisfacer los criterios de resistencia que establecen las correspondientes normativas y los usos de buena práctica para garantizar la seguridad de las estructuras. Por su parte, la determinación de los estados de deformación suele ser necesaria para satisfacer los criterios de rigidez, que están a menudo ligados a requisitos de funcionalidad.

Por todo lo explicado, el análisis de estructuras pretende disponer los parámetros o condiciones de rigidez y resistencia de las edificaciones que se están analizando.

### **Acciones sobre las estructuras analizadas**

En base a lo descrito en (Navarro Ugena & Pérez Castellanos, 1999):

Sobre una estructura pueden actuar diferentes tipos de acciones exteriores cuya naturaleza puede condicionar el método de cálculo a seguir. Estas acciones son las siguientes:

- Acción gravitatoria: peso propio, carga permanente, sobrecargas (de uso, de nieve,), movimientos forzados
- Acciones térmicas: flujo de calor por conducción, convección o radiación, transitorios térmicos.
- Acciones reológicas: retracción, fluencia.

- Acción del terreno: empujes activos, asientos.

En el cálculo de estructuras generalmente se supone que las cargas actuantes varían lentamente alcanzando su valor final (valor de cálculo) en un periodo de tiempo lo suficientemente grande como para que la aceleración de un punto del sistema no genere fuerzas de inercia que hayan de tenerse en cuenta. Sin embargo, existen algunas acciones sobre las estructuras que por la velocidad con la que inciden dan lugar a la aparición de fuerzas de inercia que han de tenerse en cuenta en el equilibrio de fuerzas que, en cada instante, ha de existir en todos los puntos del sistema. Estas acciones son las siguientes:

- Vibraciones
- Viento
- Sismos
- Impactos
- Ondas de explosiones...

La respuesta de la estructura a estas acciones variables con el tiempo depende, obviamente, del tiempo, pero su respuesta es, en general, de tipo transitorio es decir que la vibración desaparece ("se amortigua") con el tiempo.

Una acción sobre una estructura debe inicialmente considerarse de tipo dinámico para esta estructura cuando la longitud de su periodo de actuación tiene un valor comparable al del período natural de vibración libre del sistema (estructura).

La magnitud, variable en el tiempo, que define una carga dinámica puede ser una fuerza (fuerzo grama  $F=F(t)$ ), una aceleración (acelerograma  $a=a(t)$ ), un desplazamiento (desplazograma  $d=d(t)$ ...

- Existen cargas dinámicas que tienen carácter determinista es decir que su variación en el tiempo es conocida (un pulso triangular, una función armónica,)
- Existen cargas dinámicas que no se pueden representar mediante funciones temporales utilizándose en este caso una representación estocástica (las acciones sísmicas)
- Una carga dinámica ejerce dos tipos de efectos en la estructura sobre la que incide.
- Locales (efectos inducidos por cargas de tipo impacto en la zona en la que este se produce)
- Globales (la diferencia en el tiempo de los desplazamientos de los diferentes puntos de la estructura da lugar a deformaciones relativas que generan estados tensionales variables cuyo valor máximo puede ser superior al que producirían las mismas cargas aplicadas de forma estática; la variación en el tiempo no solo del valor absoluto de las deformaciones sino también del signo de estas puede llegar a producir fenómenos de fatiga en el material).

### **Tipos de análisis**

Existen distintos tipos de análisis, que, basándonos en (Navarro Ugena & Pérez Castellanos, 1999) explican a detalle cada tipo:

- Análisis estático. - Caracteriza a este tipo de análisis el hecho que las cargas actuantes sobre la estructura no dependen del tiempo.
- Análisis térmico. - Estudios del efecto tensional y deformacional que los fenómenos de transferencia de calor, radiación, tienen en las estructuras.
- Análisis dinámico. - Caracteriza a este tipo de análisis el que las cargas actuantes son variables con el tiempo debiendo requerirse la participación de las fuerzas de inercia en la estimación de la respuesta de la estructura.

- Análisis no lineal. - Caracteriza a este tipo de análisis el comportamiento inelástico del material de la estructura, la aparición de grandes deformaciones o la no linealidad geométrica de la estructura (topes, rozamientos, etc.).

### **Análisis estático lineal**

Haciendo referencia a (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006)

El análisis estático lineal se utiliza para calcular los desplazamientos, fuerzas para el diseño sísmico, la distribución de fuerzas sobre la altura del edificio y fuerzas internas.

En este procedimiento se definen estados de fuerzas laterales estáticas y procedimientos elásticos para determinar la relación demanda-capacidad de los elementos, proporcionando buena aproximación de la capacidad elástica y de la primera cedencia, pero no pueden predecir mecanismos de falla, ni tomar en cuenta la redistribución de fuerzas en el progreso de la cedencia.

La magnitud de la carga lateral se selecciona con la intensión que, cuando se aplique el modelo elástico del edificio, se obtengan desplazamientos de diseño aproximados a los desplazamientos máximos esperados durante el sismo de diseño.

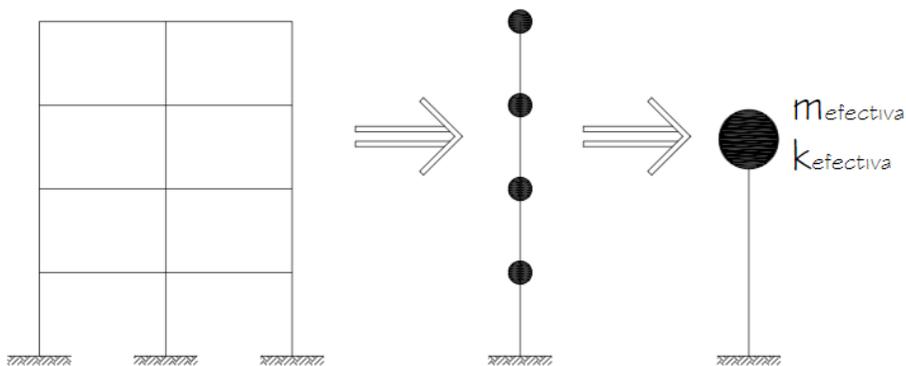
Se realizan modificaciones para la respuesta del desplazamiento del edificio para tener una mejor consideración del posible comportamiento no lineal de la estructura, ya que los desplazamientos son los mejores indicadores del daño en un rango no lineal. En este rango los cambios relativamente pequeños en la demanda de fuerzas corresponden a cambios grandes en la demanda del desplazamiento lateral del edificio; es decir, cuando la estructura se comporta de forma no lineal, cambios relativamente pequeños en la fuerza aplicada ocasiona un gran desplazamiento lateral.

Si el edificio responde esencialmente de forma elástica al sismo de diseño, las fuerzas internas que se calculen serán aproximaciones de las fuerzas esperadas para el sismo de diseño.

Para modelar la estructura se realiza como si fuese un sistema con un grado de libertad (ver figura 6) tomando en cuenta que posee una rigidez elástica lineal. La actividad sísmica se modela mediante la distribución de fuerzas laterales que son equivalentes. A partir de la primera estimación y de igual manera de la primera frecuencia fundamental de la edificación analizada, utilizando relaciones empíricas o el método de Rayleigh, se determina la aceleración espectral  $S_a$  a partir del espectro de respuesta apropiado, dicho valor será multiplicado por la masa  $m$  de la estructura, correspondiente a la fuerza lateral equivalente o el cortante basal ( $V$ ).

### Figura 6

*Diagrama equivalente de un grado de libertad.*



*Nota:* Recuperado de (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006)

### Análisis estático no lineal

Según (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006) manifestaron que:

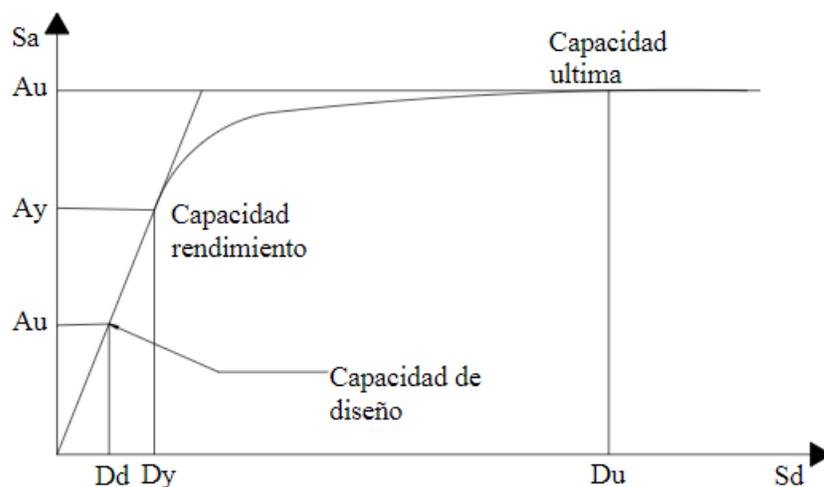
Cuando un edificio se somete a movimientos del terreno debido a las demandas sísmicas, éste experimenta desplazamientos laterales y deformaciones en sus elementos. Para respuestas de pequeña amplitud, las deformaciones en los

elementos permanecen en el rango elástico y prácticamente no ocurren daños, mientras que, para respuestas de mayor amplitud, las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la edificación experimenta daños considerables. Entonces la mejor estimación de la respuesta global de la estructura ante movimientos sísmicos y de la demanda en sus componentes individuales, se obtiene recurriendo a sofisticados procedimientos de análisis no lineal, cuyos resultados tienden a ser altamente sensibles a pequeños cambios del comportamiento de sus componentes y a la característica del movimiento utilizado. Existen diversos métodos de análisis estático no lineal para evaluar edificios existentes que permiten comparar la capacidad de la edificación con la demanda sísmica a la cual será expuesta. Entre los principales métodos simplificados de análisis estático no lineal destacan:

- A. Análisis de colapso (Pushover); es una técnica simple y eficiente para obtener la capacidad, resistencia-deformación de una estructura bajo una distribución de fuerzas inerciales esperadas. En este análisis la estructura se somete a un patrón de cargas laterales que se incrementan de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad. Utilizando este procedimiento es posible identificar la secuencia del agrietamiento, cedencia y fallo de cada uno de los componentes, los estados límites de servicio y el historial de deformaciones y cortantes en la estructura, que corresponde a la curva de capacidad. (ver figura 7).

**Figura 7**

*Curva de capacidad.*

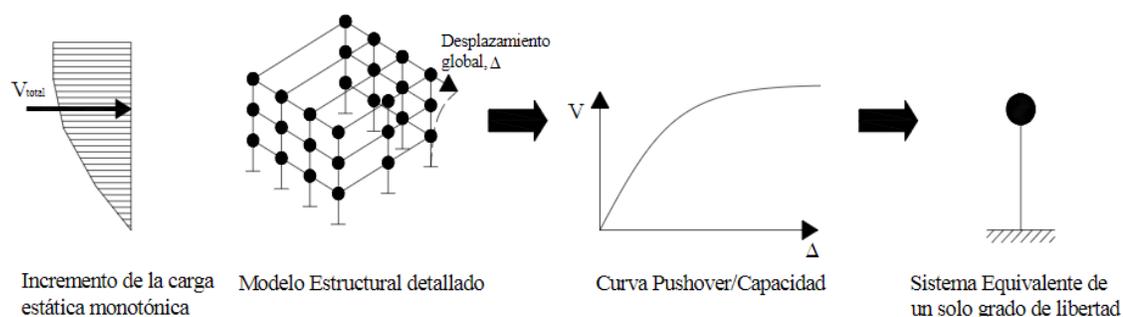


*Nota:* Recuperado de (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006)

La manera en que las fuerzas laterales están distribuida ya sean fuerzas como son: lineales, constantes, parabólicas, etc; que son aplicadas a las edificaciones tienen una gran influencia en determinar la curva de capacidad (ver figura 8).

**Figura 8**

*Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad*



*Nota:* Recuperado de (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006).

Adicionalmente (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006) manifiestan que:

En este tipo de análisis un modelo matemático incorpora directamente las características no lineales fuerza-deformación de los componentes del edificio. Es importante, tener en cuenta que, aunque este

método se basa en los desplazamientos, tiene algunas limitaciones fundamentales que deben ser consideradas en la determinación e interpretación de los resultados obtenidos. A continuación, se comentan algunas de estas limitaciones:

- Se sabe de manera general, que el daño estructural es función tanto de la deformación como de la energía sísmica. El procedimiento utilizado en el análisis de pushover asume implícitamente que el daño estructural depende solo de la deformación lateral de la estructura, despreciando los efectos de duración y disipación de la energía acumulada en la estructura. Entonces, la aplicabilidad de esta medida de daño es algo simplista, particularmente para estructuras no dúctiles, cuyos cíclicos histeréticos inelásticos presentan un fuerte estrechamiento y una forma errática [Bonett Díaz, 2003].
  - El análisis de pushover se enfoca solo en la energía de deformación de una estructura, por lo que, este procedimiento puede conducir a despreciar la energía relacionada con las componentes dinámicas de las fuerzas, es decir, la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso.
  - Los cambios progresivos en las propiedades modales que ocurren en la estructura cuando experimenta cedencia no lineal cíclica durante un sismo, no son considerados en este tipo de análisis. Por lo que recientemente han propuesto mejorar el método, tales como el análisis de colapso adaptable (Adaptive pushover) usando fuerzas o desplazamientos [Antonio & Pinho, 2004a, 2004b].
- B. El método del espectro capacidad-demanda; permite estimar gráficamente el desempeño sísmico de un edificio a través de la intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda. El método se fundamenta en una representación aproximada de las características globales no lineales de la

estructura, obtenida mediante el reemplazo del sistema no lineal por un sistema lineal equivalente, usando como base procedimientos del análisis modal. Es necesario mencionar que estos procedimientos solo son válidos para estructuras de comportamiento lineal, pero su uso en estructuras de comportamiento no lineal puede dar una buena aproximación que permita la representación del sistema a través de sus propiedades lineales efectivas.

De manera que este método se diferencia de los métodos convencionales de análisis lineal, en que estos últimos utilizan directamente las propiedades elásticas de la estructura, mientras que los anteriores, usan las propiedades efectivas o secantes de la misma, para calcular los desplazamientos. El uso de este método involucra varias aproximaciones, de manera que su implementación requiere además del conocimiento del comportamiento y la dinámica de estructuras, la aplicación de un correcto criterio ingenieril.

- B. El método del coeficiente del desplazamiento; es un procedimiento numérico para estimar la demanda de desplazamiento de una estructura usando una representación bilineal de la curva de capacidad y coeficientes de corrección. Este método utiliza una versión simplificada de la aproximación de iguales desplazamientos para estimar el punto de desempeño de una estructura mediante un procedimiento numérico directo. A diferencia del método del espectro de capacidad, éste no requiere convertir la curva de capacidad a coordenadas espectrales ( $S_a$ ,  $S_d$ ). La aplicabilidad del método se limita a estructuras regulares, que no presentan efectos de torsión adversos.

### Análisis dinámico lineal

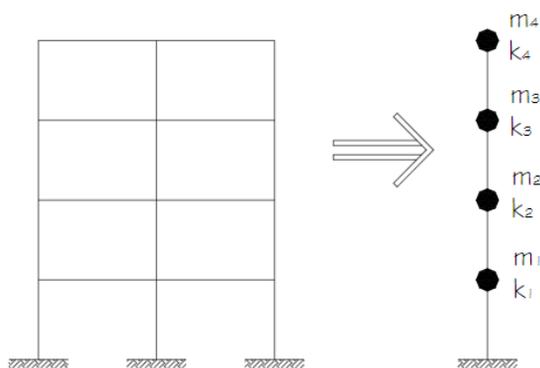
Según los autores (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006) redactan en su investigación que:

La estructura se modela como un sistema de múltiples grados de libertad mediante una matriz de rigidez elástica lineal y una matriz de amortiguamiento, la acción sísmica se modela utilizando un análisis espectral modal o un análisis temporal. En ambos casos, las fuerzas y los desplazamientos internos de la estructura se determinan mediante un análisis dinámico lineal.

El análisis temporal involucra una evaluación paso a paso de la respuesta de la estructura, usando registros de sismos reales o acelerogramas sintéticos. En ambos casos, las fuerzas y los desplazamientos internos de la estructura se determinan usando un análisis dinámico lineal. Si se realizan tres o más análisis, la respuesta máxima de los parámetros de interés pueden ser usados para el diseño. Si se usan siete o más pares del análisis temporal para el registro de movimientos sísmicos; se puede utilizar el promedio de todas las respuestas de los parámetros de interés para el diseño [ASCE, 2000]. (ver figura 9)

### Figura 9

*Diagrama equivalente de múltiples grados de libertad.*



*Nota:* Recuperado de (Guevara Morales, Osorio Rodríguez, & Vargas, 2006)

El análisis de espectro modal supone que la respuesta dinámica de la estructura se puede determinar considerando la respuesta de cada modo de vibración natural de forma independiente utilizando el espectro de respuesta elástica. Solo se consideran los modos que contribuyen significativamente a la respuesta estructural. Combine respuestas modales utilizando métodos como "raíz cuadrada de la suma de cuadrados" o mínimos cuadrados.

### **Análisis dinámico no lineal**

Conforme a (Krawinkler & Seneviratna, 1998):

El mejor método para evaluar la capacidad estructural y el desempeño sísmico de una edificación es el análisis dinámico no lineal, ya que es la representación más cercana al comportamiento real de las estructuras; sin embargo, la implementación de este método requiere la disponibilidad de una definición clara de ciertos parámetros, como, por ejemplo: Características de frecuencias, ruptura, etc.

De acuerdo a lo presente en (Safina Melone, 2022):

En este tipo de análisis la estructura se modela de forma similar a la utilizada para el análisis estático no lineal. La diferencia principal es que la acción sísmica se modela con historias temporales de movimiento (acelerogramas reales o simulados). Este es procedimiento más sofisticado para predecir las fuerzas y los desplazamientos internos de una estructura cuando se ve sometida a una acción sísmica. Sin embargo, la respuesta calculada de la estructura puede ser muy sensible a las características propias de la acción, por lo que se recomienda utilizar varios registros de historias temporales de aceleración.

## **Modelación de estructuras**

El modelamiento de estructuras se refiere al proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida.

Conforme a lo expuesto por (Gómez Martínez, 2011):

Por modelado definiremos al proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida. Por ello este proceso conlleva a la toma de decisiones respecto a los siguientes aspectos: La geometría de la estructura, las propiedades de los materiales que la constituyen, la magnitud y ubicación de cargas permanentes y variables, los tipos de elementos que la pueden representar con mayor fidelidad (1, 2 ó 3 dimensiones), las conexiones internas entre estos elementos, los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio circundante (suelos, líquidos u otros materiales). Para el análisis, los elementos estructurales se clasifican en unidimensionales, cuando una de sus dimensiones es mucho mayor que las restantes, bidimensionales, cuando una de sus dimensiones es pequeña comparada con las otras dos, y tridimensionales cuando ninguna de sus dimensiones resulta ser mayor que las otras. El proyectista debe elegir, en cada caso, el tipo de elemento más adecuado para que el modelo estructural reproduzca adecuadamente el comportamiento buscado de dicho elemento.

Para conseguir el mejor diseño estructural, tenemos que calcular las fuerzas actuantes, momentos de flexión y torsión que actúan sobre la estructura, por tanto, para realizar el análisis estructural, se idealiza tanto la geometría de la estructura, como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado que debe, reflejar aproximadamente las condiciones de

rigidez de las secciones transversales de los elementos, de sus uniones y de sus apoyos en el terreno.

Para tener una idea de cuán importante es el modelado y garantizar con ello el buen desempeño de la construcción, los requisitos que debe cumplir el modelo de análisis se enuncian en los siguientes puntos:

- Un modelado fiel de la estructura que incluya los componentes más significativos.
- Un análisis confiable que suministre la respuesta dinámica ante el sismo de diseño y los vientos de diseño.
- Un diseño y detallado cuidadoso que le permita a la estructura disipar energía, en congruencia con los factores de ductilidad o de reducción adoptados.
- Una construcción acorde con el proyecto estructural.

### **Normativa ecuatoriana de la construcción**

Conforme con el Ministerio del Hábitat y Vivienda (MIDUVI, 2015):

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015, tiene la finalidad de controlar los procesos constructivos los cuales cumplan las exigencias básicas de seguridad y calidad en todo tipo de edificaciones como consecuencia de las características del proyecto, la construcción, el uso y el mantenimiento; especificando parámetros, objetivos y procedimientos con base a los siguientes criterios:

- (i) Establecer parámetros mínimos de seguridad y salud;
- (ii) Mejorar los mecanismos de control y mantenimiento;
- (iii) Definir principios de diseño y montaje con niveles mínimos de calidad;
- (iv) Reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia energética;
- (v) Abogar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad;
- (vi) Fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados.

Los requisitos establecidos en la NEC serán de obligatorio cumplimiento a nivel nacional; por lo tanto, todos los profesionales, empresas e instituciones públicas y privadas tienen la obligación de cumplir y hacer cumplir los requisitos establecidos para cada uno de los capítulos contemplados. De este modo, los proyectos arquitectónicos y los procesos de construcción deberán observar las condiciones o parámetros establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y las regulaciones locales, expedidas por los distintos Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, deberán acogerse a dicha Norma, en ejercicio de las competencias asignadas por el COOTAD.

Es por esto que, es necesaria la aplicación de una normativa en el Ecuador que regule y controle los procesos constructivos con el fin de evitar pérdidas humanas por siniestros sísmicos como lo hace la NEC -2015 que propone regularizaciones en base a normativas internacionales tales como la ACI o la ASCE.

Con el fin de poder realizar un análisis estructural regularizado, la NEC 2015 propone 2 métodos para el estudio de las edificaciones:

- Diseño Basado en Fuerzas (DBF)
- Diseño Basado en Desplazamientos (DBD)

### **Diseño basado en fuerzas**

Conforme con lo que se determina en (NEC-15, 2015):

Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de las combinaciones de las fuerzas horizontales actuantes, para determinar los efectos relacionados.

#### **Los principales objetivos del DBF son:**

- Tomar en cuenta los niveles de amenaza sísmica (y niveles de desempeño)
- Determinar las fuerzas sísmicas de diseño (fuerza lateral equivalente)
- RDBF: Verificar que los efectos del sismo:  $E \leq R_d$  (resistencia de cálculo del elemento;  $R_d$  se calculará de acuerdo con las normas dedicadas a los materiales, usando modelos elásticos lineales)
- DDBF: Verificar las deformaciones, en particular las derivas máximas de la estructura

Siguiendo con la explicación que nos da la NEC también nos habla sobre los límites del diseño basado en fuerzas (NEC-15, 2015):

#### **Límites del DBF**

Conforme con (NEC-15, 2015):

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

### **Requisitos de Resistencia (DBF)**

Conforme con (NEC-15, 2015):

El requisito de resistencia RDBF implica el cálculo de las fuerzas internas que actúan en cada elemento estructural. Para cumplir este requisito, los resultados totales del análisis deberán incluir:

- Deflexiones
- Derivas
- Fuerzas en los pisos, y en los elementos
- Momentos
- Cortantes de piso
- Cortante en la base

### **Requisitos de Derivas de piso (DBF)**

Acorde con (NEC-15, 2015):

Las deformaciones generadas por las fuerzas sísmicas se calcularán de acuerdo con el tipo de material y de estructura, en conformidad con las normas.

Se usará preferencialmente el DBF considerando edificios de uso normal, mientras se favorecerán otros métodos para estructuras esenciales o de ocupación especial. Sin embargo, se permite recurrir al DBF para estructuras irregulares y todo tipo de estructura, el cálculo del corte basal tomando en cuenta estas configuraciones más desfavorables mediante coeficientes dedicados. En este caso, el diseñador deberá justificar el uso del método. También pueden utilizarse procedimientos alternativos de cálculo sísmico que tengan un adecuado fundamento basado en los principios establecidos por la dinámica de estructuras.

## **Modelos de análisis de las fuerzas sísmicas usados con el DBF**

Tal como se indica en la (NEC-15, 2015):

El DBF presentará la misma metodología general para los 3 métodos de análisis que permite el presente capítulo:

- Estático (1)
- No lineales:
- Análisis dinámico espectral (2)
- Análisis paso a paso en el tiempo (3)

### **Procedimiento estático:**

Condiciones de aplicación:

Se podrá aplicar el método estático para estructuras de ocupación normal. El factor Z será utilizado para definir la PGA, y por ende el espectro en aceleración  $S_a(T)$ .

A continuación, se presentan factores claves a sopesar en el procedimiento de análisis estático que nos propone la NEC 2015:

#### **a. Opciones de métodos a emplear**

Conforme con (NEC-15, 2015):

- Análisis espectral: se aplicará este método para estructuras de ocupación especial, esenciales, bien como puentes, obras portuarias y otras estructuras diferentes a las de edificación.
- Análisis paso a paso en el tiempo: se aplicará este método para estructuras cuyo suelo del sitio de ubicación es de tipo F.

- Para suelos tipo F, se desarrollarán acelerogramas para el sitio específico que sean representativos de los terremotos reales esperados en la zona.

**b. Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico**

Conforme con (NEC-15, 2015):

El valor del cortante dinámico total en la base obtenida por cualquier método de análisis dinámico, no puede ser:

- < 80% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras regulares)
- < 90% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras irregulares).

**c. Representación y determinación de la carga sísmica horizontal**

La acción sísmica utilizada debe representar, como mínimo, al sismo de diseño (periodo de retorno de 475 años), usando la formula general de la sección 6.3.2, sin la aplicación del factor de reducción de respuesta  $R$ .

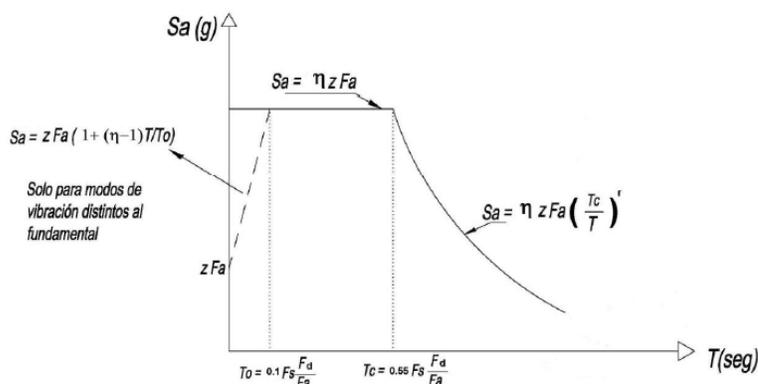
**Espectro de respuesta**

Teniendo como referencia (NEC-15, 2015):

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 10, consistente con:

Figura 10

*Espectro elástico de aceleración.*



Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

Dónde:

- $\eta$ : Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.

Cada región tiene su valor  $\eta$  correspondiente:

- $\eta = 1.80$ : Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$ : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$ : Provincias del Oriente
- $F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- $F_d$ : Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- $F_s$ : Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad

y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

- $S_a$ : Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $g$ ). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura

Este factor se lo encuentra con la siguiente expresión:

$$S_a = \eta * z * F_a \quad (1)$$

- $T$ : Periodo fundamental de vibración de la estructura
- $T_0$ : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- $T_C$ : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- $Z$ : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad  $g$
- Factor de zona sísmica ( $Z$ ): El valor de  $Z$  de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, de acuerdo al mapa de zonificación sísmica que se muestra en la Figura 1, Cap. 2; se puede determinar el valor de  $Z$  según se desee conocer para la estructura analizada:

### **Zona Sísmica**

La presente normativa define 6 zonas sísmicas en el Ecuador:

- Zona I: Peligro sísmico intermedio
- Zona II: Peligro sísmico alto

- Zona III: Peligro sísmico alto
- Zona IV: Peligro sísmico alto
- Zona V: Peligro sísmico alto
- Zona VI: Peligro sísmico muy alto

Cada zona sísmica tiene su valor definido de Z según la Figura 11 que asigna cada zona a cada valor de Z.

### Figura 11

*Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada*

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

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

Otro de los parámetros que nos indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción son las formas modales, que tal y como lo indica en (NEC-15, 2015):

#### Número de modos

Se deben considerar en el análisis:

- Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios periodos de vibración integrados en las curvas de peligro sísmico,
- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.

**Combinación de modos:** Cuando se utilicen modelos tridimensionales, los efectos de interacción modal deben ser considerados cuando se combinen los valores modales máximos.

### Reducción de las fuerzas dinámicas de respuesta elástica para diseño

Condición de aplicación: en ningún caso se reducirán los parámetros de respuesta elástica a valores tales que el cortante basal de diseño reducido sea menor que el cortante basal de respuesta elástica dividido por R.

Las fuerzas obtenidas mediante análisis elástico dinámico pueden ser reducidas para propósitos de diseño bajo la condición previa. El valor de R podrá ser aplicado en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismo resistente.

Las fuerzas dinámicas obtenidas deberán también ser modificadas por los factores:

- I (factor de importancia): Este valor depende de qué tipo de construcción se tenga, su valor aumenta dependiendo del grado de cuidado o categoría que tenga la edificación, tomando los valores mayores para las edificaciones que se consideren esenciales en caso de una acción sísmica como lo indica la tabla encontrada en la normativa (NEC-15, 2015):

#### Figura 12

##### *Coefficiente de importancia estructural*

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

- $\phi_{Ei}$  y  $\phi_{Pi}$  (factores de configuración estructural en planta y en elevación):

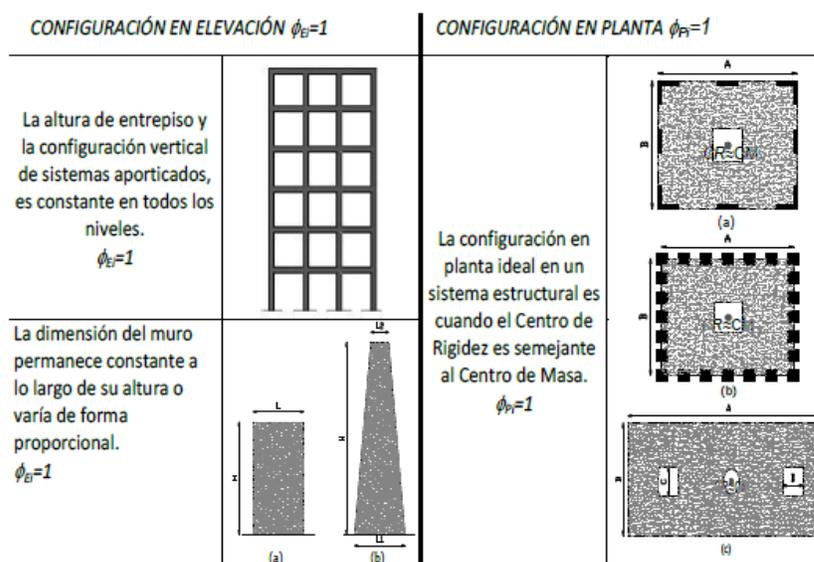
Tal como lo especifica (NEC-15, 2015):

Diseñadores arquitectónicos y estructurales procuraran que la configuración de la estructura sea simple y regular para lograr un adecuado desempeño sísmico.

Es por esto, que, de acuerdo con la figura 13, así se recomienda generar una estructura regular tanto en planta como en elevación:

### Figura 13

*Configuraciones estructurales recomendadas*



*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

Figura 14

Configuraciones estructurales no recomendadas

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p><b>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p>		<p><b>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</b></p> <p>Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>
<p><b>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>	<p>RESISTENCIA PISO B &lt; 0.70 RESISTENCIA PISO C</p>	
<p><b>Columna corta</b> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>		

Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

Figura 15

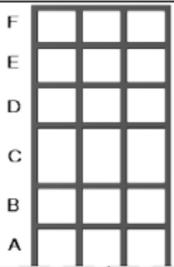
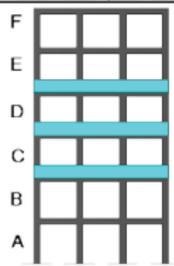
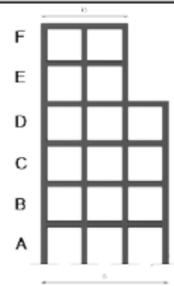
Coefficientes de irregularidad en planta

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

Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

Figura 16

## Coeficientes de irregularidad en elevación

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  <math>Rigidez &lt; 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

### **Diseño Basado en Desplazamientos**

Conforme con lo expuesto en la (NEC-15, 2015):

El Diseño Basado en Desplazamientos (DBD) parte de un desplazamiento objetivo (desplazamiento de diseño), que es función del desempeño (o nivel de daño) deseado en la estructura y proporciona la resistencia lateral requerida para alcanzar ese desempeño.

Para asegurar la eficiencia del DBD, se utilizará paralelamente los principios del Diseño por Capacidad para el detallamiento de los elementos del sistema sismo

resistente, con el propósito de asegurar que el mecanismo dúctil seleccionado para el edificio y sólo ese, se desarrolle durante un evento sísmico severo.

### **Condiciones de aplicación**

Se privilegiará el DBD para estructuras esenciales y de ocupación especial, y en la medida de lo posible para estructuras irregulares en planta y elevación. El

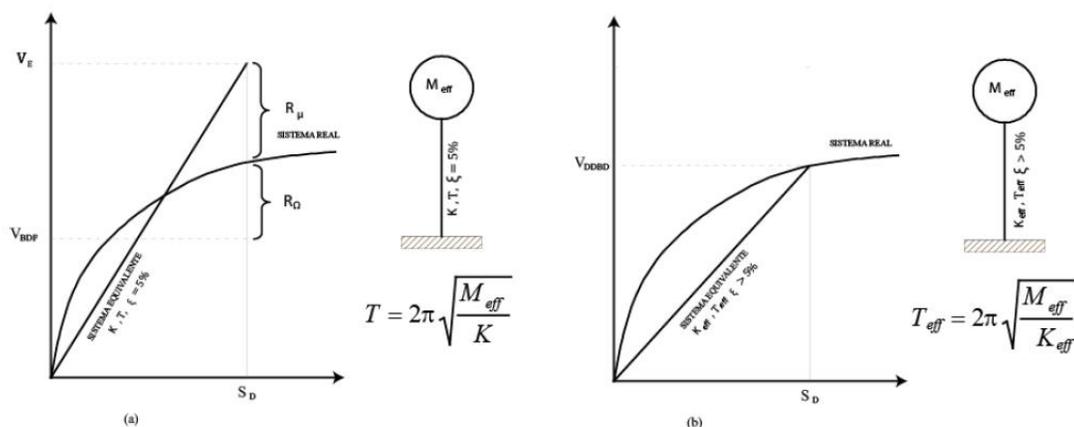
DBD puede ser utilizado para el diseño sismo resistente de edificios:

- Con pórticos de hormigón armado o acero
- Con muros estructurales

### **Principio: sistema elástico equivalente en DBD de un grado de libertad**

De acuerdo a (NEC-15, 2015):

El DBD es un método que utiliza una estructura equivalente de un grado de libertad (para Sistema elástico equivalente: véase la Figura 16). Se basa en el hecho de que es el primer modo de vibración el que genera mayores demandas y desarrolla rótulas plásticas. La demanda generada por los otros modos de vibración es considerada a través de factores de amplificación dinámica en el diseño de las secciones y elementos protegidos, es decir, aquellos en los que no deben formarse rótulas plásticas. El DBD se fundamenta en el método de linealización equivalente, en el cual la estructura inelástica en su máximo desplazamiento es reemplazada por un sistema elástico de un grado de libertad, que es equivalente al utilizar la rigidez secante en el punto de respuesta máxima y al aplicar un amortiguamiento viscoso e histerético en la estructura real véase en la Figura 17. El sistema elástico de un grado de libertad representa el funcionamiento de la respuesta pico de desplazamiento (no las características elásticas iniciales de la estructura).

**Figura 17***Linealización equivalente*

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

**Lógica general y proceso de diseño del DBD**

De acuerdo a lo detallado por (NEC-15, 2015):

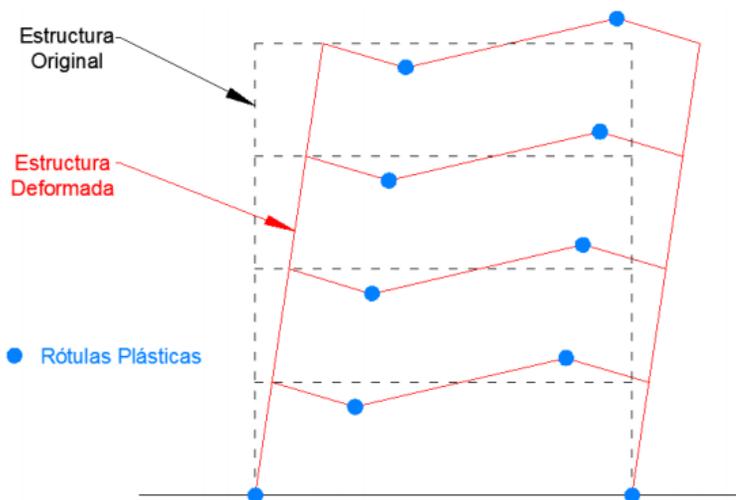
- Determinación de la característica de la “Estructura Equivalente”
- Determinación del desplazamiento de diseño o desplazamiento característico  $\Delta D$
- Desarrollo del espectro en desplazamientos de diseño
- Consideraciones para la distribución de la fuerza de cortante basal de diseño  $V$  para las diferentes localizaciones de masas discretizadas, y para el análisis de la estructura bajo la distribución de fuerzas sísmicas.

**Requisitos generales para la aplicación de DBD**

Conforme con (NEC-15, 2015):

Se verificarán las deformaciones inelásticas tal como sigue:

- Rótulas plásticas en sitios predeterminados: las rótulas plásticas por ejemplo como en la figura 17 se formarán solo en los sitios predeterminados, aplicando los principios del diseño por capacidad.

**Figura 18***Rótulas plásticas en estructura*

*Nota:* Recuperado de (Salas, 2016)

- Efectos de los modos de vibración: Las fuerzas de diseño de las secciones que deben permanecer elásticas deben amplificarse para incluir los efectos de los modos de vibración altos.
- Efectos de segundo orden e inestabilidad: al cumplimiento de los límites de desempeño especificados anteriormente, se verificará que los efectos de segundo orden (acciones  $P-\Delta$ ) no causen problemas de inestabilidad, de conformidad. La estructura debe tener una configuración estructural que cumpla con los requisitos de configuración estructural, con el propósito de asegurar la formación de un mecanismo satisfactorio de deformación inelástica.
- Nivel de desempeño estructural

En el DBD, el daño en una estructura se correlaciona con los desplazamientos que se generan durante un sismo severo, no con la resistencia lateral desarrollada.

- Criterio de desempeño: deformación unitaria máxima

El desplazamiento meta será generalmente gobernado por:

- El límite impuesto a las derivas de piso para estructuras con pórticos resistentes a momentos (flexibilidad inherente),
- Límites en la deformación unitaria, en los edificios con muros estructurales, es probable que los controlen el diseño.

Las solicitaciones verificadas son los límites a la deformación por:

- Compresión

Flexión o flexo-compresión

Para el estado límite "seguridad de vida", las estructuras podrán alcanzar los límites de deformación unitaria por flexión o flexo-compresión especificados en la Figura 19. Se deben aplicar a las fibras extremas de las secciones donde se espera la formación de rótulas plásticas.

### Figura 19

*Límites de deformación unitaria*

<b>Estructuras de:</b>	<b><math>\Delta_M</math> máxima (sin unidad)</b>
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

### Visión General de la teoría dinámica

Acorde a (Boroschek, 2015):

Uno debe tratar de evitar clasificar los problemas como de naturaleza dinámica por el solo hecho de que exista una variación de la amplitud o posición de las acciones. Lo principal en la asignación del calificativo dinámico radica en que las acciones aplicadas sobre una estructura y las acciones internas producen una resultante que no es nulo o despreciable.

$$\sum F(t) = m * \ddot{v}(t) \neq 0 \quad (2)$$

En la práctica todas las acciones sobre una estructura sufren variaciones espaciales o temporales, pero no es necesario en estos casos considerar el problema dinámico si la resultante es despreciable.

### **Generalidades de la dinámica estructural**

La base fundamental para poder entender el problema dinámico estructural es tener en cuenta las siguientes tres definiciones básicas de los componentes básicos que se ven involucrados en el análisis dinámico estructural:

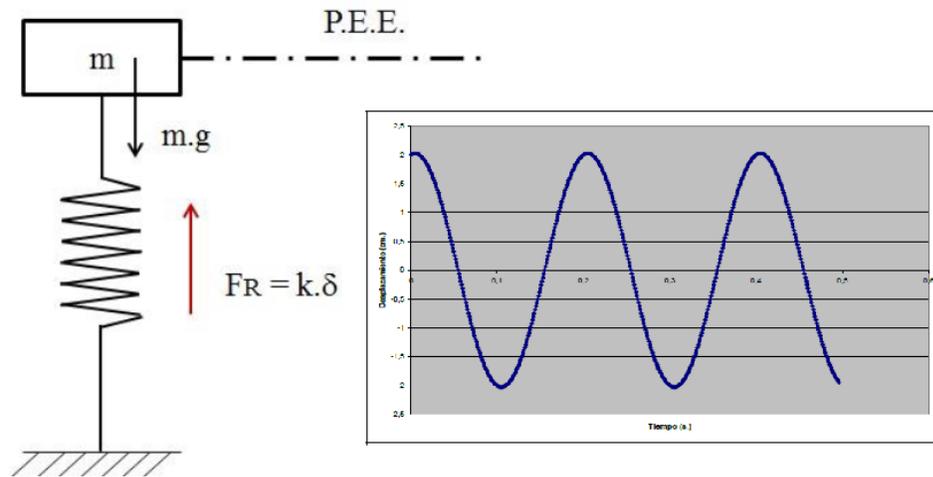
- Excitación
- Estructura
- Respuesta

Los mismos que interactúan de la siguiente forma (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021):

La excitación puede ser una vibración libre, armónica, o puede tener configuración de carga periódica, impulsiva, ambiental, etc. Es ese fenómeno que va a transgredir en la estructura, la misma que se la modela en forma simplificada a un grado de libertad, de forma externa provocando una respuesta la misma que puede ser un estado estable, variable o cualquier otro tipo de respuesta:

**Figura 20**

*Excitación y respuesta de un sistema 1gdI*



*Nota:* Recuperado de (Aguiar, 2012)

### **Excitaciones**

Conforme a (Arcentales & Yépez, 2020):

Las excitaciones, son acciones externas por las cuales un sistema sufre cambios en sus condiciones iniciales, entre las que se pueden citar:

- Cargas muertas
- Cargas vivas
- Dinámicas
- De viento
- De nieve
- Térmicas
- Sísmicas
- Asentamientos.

Las cargas dinámicas son las que varían con respecto al tiempo y las cargas sísmicas se producen cuando existe un movimiento en el suelo de la edificación,

transmitido por su cimentación a la superestructura, en forma de vibraciones.

Cada una de ellas obedece al tipo de excitación proporcionada.

### **Vibración ambiental**

Las fuerzas antes mencionadas, provocan vibraciones en las edificaciones, esto es conocido como vibración forzada.

De acuerdo a (Esquivel, 2016):

Los edificios vibran de acuerdo a sus propiedades dinámicas. Es importante poder caracterizar estos movimientos vibratorios con miras a modelar de manera acertada el comportamiento de la estructura bajo cargas que cambian instantáneamente con el tiempo, como por ejemplo las producidas por sismos o viento. Los patrones de vibración de un edificio son complejos, por lo que se descomponen en modos de vibración más sencillos, que superpuestos conforman la forma final en que vibrará la estructura. Cada uno de estos modos está definido por medio de tres parámetros: periodo natural ( $T$ ), amortiguamiento ( $\beta$ ) y forma modal.

Tal como lo explica (Arcentales & Yépez, 2020):

Las vibraciones en las estructuras que se obtuvieron por acciones externas son consideradas como vibraciones forzadas. Las vibraciones ambientales son de baja amplitud, se recomiendan registros de larga duración de la respuesta estructural a este tipo de vibraciones, para obtener gráficos de valores singulares de alta calidad, como resultado de espectros caracterizados por un gran número de promedios y una resolución de frecuencia fina (del orden de 0,1 Hz).

Cuando se realizan pruebas de vibración ambiental, la distribución espectral (desconocida) de la entrada, el ruido en la señal y, eventualmente, los errores causados por la ventana en el análisis espectral son responsables de la gran variabilidad de las estimaciones de amortiguamiento. Es por ello que precisan de

herramientas para discriminar las frecuencias propias de la estructura y aquellas que son ruido solamente. En lo que respecta al tema de identificación de señales, sus correcciones y mejoras para la interpretación, son abordados en el capítulo correspondiente.

### **Problema físico y representación matemática**

De acuerdo a lo indicado en (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021):

Los modelos matemáticos o teóricos se han generado con el fin de poder obtener una concepción o abstracción de la realidad, lo que se pretende es llegar a conceptualizar lo que está pasando en la realidad mediante un modelo sofisticado, en este modelo se incluyen variables, aproximaciones, propiedades, etc. Todos estos elementos ayudan a poder representar lo que se busca estudiar con el fin de poder obtener estimaciones o predicciones para el modelo real.

Para el caso estructural, se toman consideraciones con respecto a:

- Materiales
- Geometría
- Fuerzas
- Fenómenos físicos
- Cargas
- Esfuerzos
- Condiciones de borde, entre otras.

Todas aquellas consideraciones que se vayan a tomar para una representación sofisticada son producto de años de investigaciones y estudios.

Conforme con lo expuesto en (Arcentales & Yépez, 2020):

Estas asunciones parten de una concepción mental y se generan mediante un proceso de descripción de los parámetros, en referencia a su masa, rigidez y amortiguamiento.

En general, el proceso de modelamiento permite describir el movimiento mediante la cinemática, y la dinámica donde ya se incluye las fuerzas que producen el movimiento. Con la finalidad de generar modelos dinámicos que representen los fenómenos físicos, se debe considerar principalmente la segunda ley de Newton.

La misma que señala que para que un cuerpo cambie su movimiento es necesaria una excitación; lo que produce la excitación se llama fuerza. Para cuantificar la fuerza se emplea como constante de proporcionalidad a la masa ( $m$ ), ya que Newton encontró que la fuerza es proporcional a la aceleración. La fuerza se determina con la cantidad de movimiento ( $p$ ) en función de la velocidad ( $\dot{u}$ ).

$$p(t) = \frac{d}{dt} \left( m * \left( \frac{du}{dt} \right) \right) \quad (3)$$

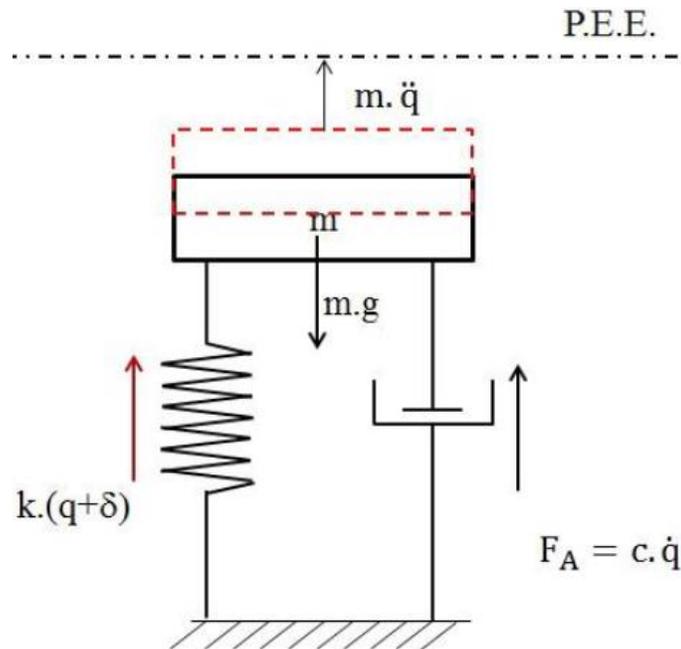
$$p(t) = m * \frac{d^2u}{dt^2} = m * \ddot{u} \quad (4)$$

### **Modelo matemático**

Este modelo se plantea en base a 1 grado de libertad, es decir, se encuentra restringido a moverse o desplazarse en un sentido tras la aplicación de un efecto externo (ver Figura 21).

Figura 21

Excitación de Sistema 1gdl



Nota: Recuperado de (Aguiar, 2012)

Deduciendo de (Aguiar, 2012):

El sistema mostrado en la figura 19, ilustra la forma en que un objeto de masa ( $m$ ) sufre una deformación vertical por la aplicación de una fuerza, instantáneamente a esta acción, surge una fuerza  $F_A$  (fuerza de amortiguamiento) que se opone al movimiento, también aparece la fuerza de restitución elástica  $F_R$  que es  $F_R = k(q + \delta)$  que de la misma forma se opone al movimiento, y por último la fuerza inercial  $F_i = m \cdot \ddot{u}$  que depende del elemento y que de la misma forma se opone al movimiento, esto obedeciendo la tercera ley de Newton por la aparición de reacciones ante una acción.

Desarrollando el equilibrio de fuerzas se llega a la ecuación diferencial del movimiento detallado a continuación:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F(t) - f_s - f_d - f_i = 0$$

$$F(t) - k * u - c * \dot{u} - m * \ddot{u} = 0$$

$$F(t) = m * \ddot{u} + c * \dot{u} + k * u$$

Al final, la expresión queda representada simplemente de la siguiente manera:

$$m * \ddot{u} + c * \dot{u} + k * u = \begin{cases} 0 \\ F(t) \end{cases} \quad (5)$$

### ***Ecuación del movimiento***

Conforme a (Arcentales & Yépez, 2020):

Las ecuaciones de movimiento son expresiones que definen las propiedades de los sistemas, en función de las respuestas dinámicas. Existen tres maneras de formular estas ecuaciones de movimiento: Equilibrio Dinámico, principio de trabajo virtual y el principio de Hamilton.

El análisis dinámico se basa en la siguiente ecuación fundamental:

$$M * \ddot{u} + C * \dot{u} + K * u = F(t) \quad (6)$$

En donde:

- $M$  matriz de masa de la estructura.
- $C$  matriz de amortiguamiento de la estructura.
- $K$  matriz de rigidez de la estructura.
- $\ddot{u}$  vector de aceleración de la estructura.
- $\dot{u}$  vector de velocidad de la estructura.

$u$  vector de desplazamientos de la estructura.

$F(t)$  vector de fuerzas que actúan en la estructura.

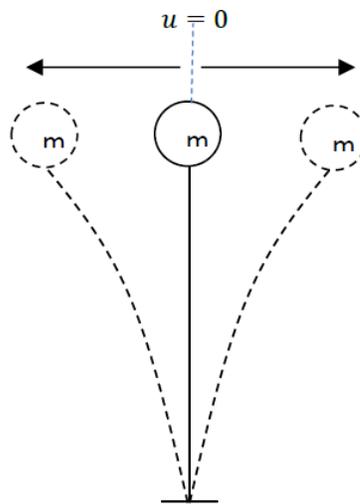
Con el fin de facilitar el proceso de cálculo, se ha despreciado el efecto de amortiguamiento, es decir, se va a tomar una condición ideal para la estructura:

$$M * \ddot{u} + K * u = 0 \quad (7)$$

Para poder determinar los parámetros que intervienen en el análisis, se ha tomado un modelo tipo péndulo invertido tal como se representa en la figura 22:

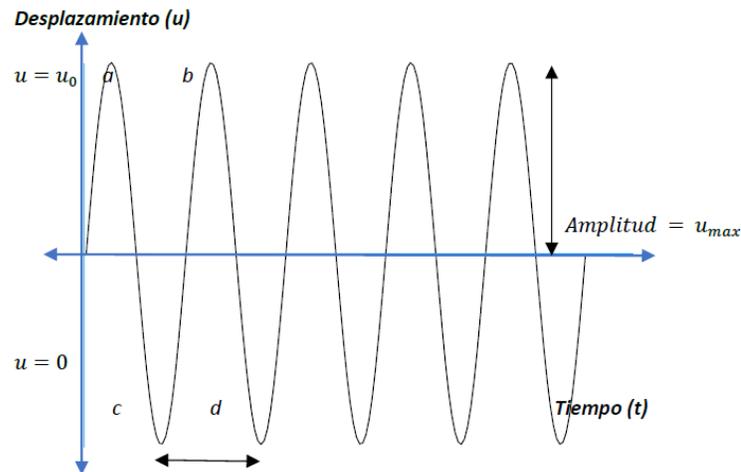
**Figura 22**

*Modelo tipo péndulo invertido*



*Nota:* Recuperado de (Arcentales & Yépez, 2020)

La aplicación de una fuerza o excitación externa al modelo genera la siguiente respuesta que se aprecia en la figura 23, esta respuesta se conoce como Movimiento Armónico Simple (M.A.S), en la que a continuación se indican los componentes:

**Figura 23***Movimiento Armónico Simple (M.A.S)*

*Nota:* Recuperado de (Arcentales & Yépez, 2020)

Acorde a lo expuesto por (Arcentales & Yépez, 2020):

- Amplitud es el máximo desplazamiento que se registra en la gráfica, se expresa en unidades de longitud, en el SI en metros [m].
- Desplazamiento es la distancia recorrida por la masa analizada desde su punto de equilibrio, se expresa en unidades de longitud, en el SI en metros [m].
- Frecuencia ( $f$ ) es el número de veces que tiene lugar el movimiento cíclico completo en una unidad de tiempo, su unidad son los Hertz [Hz]. Es equivalente al inverso del periodo.
- Frecuencias naturales ( $W_n$ ) son aquellas propias del sistema estructural, independientemente de cuál sea la excitación impuesta. Dado que cada ciclo completo recorre  $2\pi$ , expresado en coordenadas polares, se define también como velocidad angular o frecuencia angular y tiene por unidades a los radianes por segundo [rads/s].

$$W_n = 2 * \pi * f \quad (8)$$

- Periodo (T) es el tiempo total para el movimiento combinado, atrás y adelante, del sistema. El periodo es el número de segundos por ciclo, se expresa en segundos [s].

### ***Análisis modal espectral***

En base a (Prato, 2015):

El método modal espectral requiere como dato de partida para su aplicación conocer los modos y frecuencias naturales del sistema de múltiples grados de libertad, es decir que se conocen los valores de las frecuencias  $\omega_i$  y de los modos  $\Phi_i$ .

Acorde a lo descrito por (Arcentales & Yépez, 2020):

El análisis se realiza midiendo las respuestas de entrada y salida, para un sistema lineal invariable en el tiempo. Un conjunto de funciones de respuesta de frecuencia relaciona la fuerza aplicada y la respuesta correspondiente, en varios pares de puntos a lo largo de la estructura. Los parámetros modales (frecuencias naturales, relaciones de amortiguamiento y formas modales) se encuentran ajustando un modelo a las funciones de respuesta de frecuencia.

### ***Ecuaciones empleadas***

Las siguientes expresiones forman parte de las ecuaciones dinámicas de estructuras para la comprensión del fenómeno estructural, estas son:

Frecuencia fundamental:

$$W_{nn} = \lambda_n \quad (9)$$

Frecuencia natural:

$$T_n = 2 * \pi * W_{nn} \quad (10)$$

Periodo de la estructura:

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

(11)

Donde:

$\omega_n$  son las frecuencias naturales de la estructura.

$T_n$  son los periodos de la estructura.

$f_n$  son las frecuencias fundamentales de la estructura.

### **Respuesta Modal**

La ecuación 12 definida en el trabajo de (Arcentales & Yépez, 2020), corresponde a la respuesta modal que esta descrita del estudio de los desplazamientos.

$$u = \phi * \Gamma_i * \frac{Sa_i}{\lambda_i}$$

(12)

Donde:

$u$  Vector de desplazamiento en el modo analizado

$\phi$  Vector de los modos de vibración

$\Gamma_i$  Factor de participación modal

$Sa_i$  Aceleración del espectro

$\lambda_i$  Valor propio

Y con el uso de la Ecuación 13 se logra obtener las derivas de piso

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1}$$

(13)

Donde:

$\Delta_i$  Deriva de piso

$u_i$  Desplazamiento en el piso i

### **Fuerza modal**

La fuerza modal está establecida por la Ecuación 14, detallada por (Arcentales & Yépez, 2020):

$$f_s = M * \emptyset * \Gamma_i * S a_i \quad (14)$$

Donde:

- $f_s$  Vector de fuerzas modales
- $M$  Matriz de masas
- $\emptyset$  Vector de los modos de vibración
- $\Gamma_i$  Factor de participación modal
- $S a_i$  Aceleración del espectro

### **Cortante basal**

El cortante basal de la estructura es la sumatoria de las fuerzas modales, como se establece en la Ecuación 15.

$$V = \sum_{i=1}^n f_{s_i} \quad (15)$$

Donde:

- $V$  Cortante basal
- $f_{s_i}$  Fuerzas modales del piso  $i$

### **Máximas aceleraciones de piso**

Conforme con (Arcentales & Yépez, 2020) la aceleración máxima de piso se calcula con la siguiente expresión:

$$\ddot{u}_i = \frac{f_{si}}{m_i} \quad (16)$$

Donde:

$\ddot{u}_i$  es la máxima aceleración del piso en el modo de análisis.

$f_{si}$  es la fuerza modal del piso en el modo de análisis.

$m_i$  es la masa correspondiente al piso analizado.

### **Máxima aceleración basal**

La máxima aceleración basal según (Arcentales & Yépez, 2020), se calcula con la siguiente expresión:

$$\ddot{U}_g = \frac{V}{\sum m} \quad (17)$$

Donde:

$\ddot{U}_g$  es la máxima aceleración en la base.

$V$  es el cortante basal.

$\sum m$  es la sumatoria de las masas.

### **Criterio de combinación modal**

En base a (Amaguaña & Yumbal, 2016):

La segunda regla de combinación modal (SRSS - Square Root Sum of Squares), por su simplicidad de cálculo es uno de los más utilizados; obteniendo la

respuesta total del sistema al calcular la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las respuestas máximas de cada modo.

La fórmula para obtener el criterio del valor máximo probable fue creada por E.

Rosenblueth en su tesis doctoral de 1951, siendo esta:

$$r = \sqrt{\sum_{i=1}^N (r_i)^2} \quad (18)$$

Donde:

r Respuesta total del sistema

$r_i$  Máxima respuesta del modo  $i$

N Número de modos que se consideran en la respuesta.

Los resultados que proporciona el SSRS pueden ser confiables si los periodos de los  $n$  modos de vibración estimados difieran entre si más de un 10%. No se debe utilizar este criterio si la condición no se cumple porque se puede obtener respuestas subestimadas.

### Capítulo 3

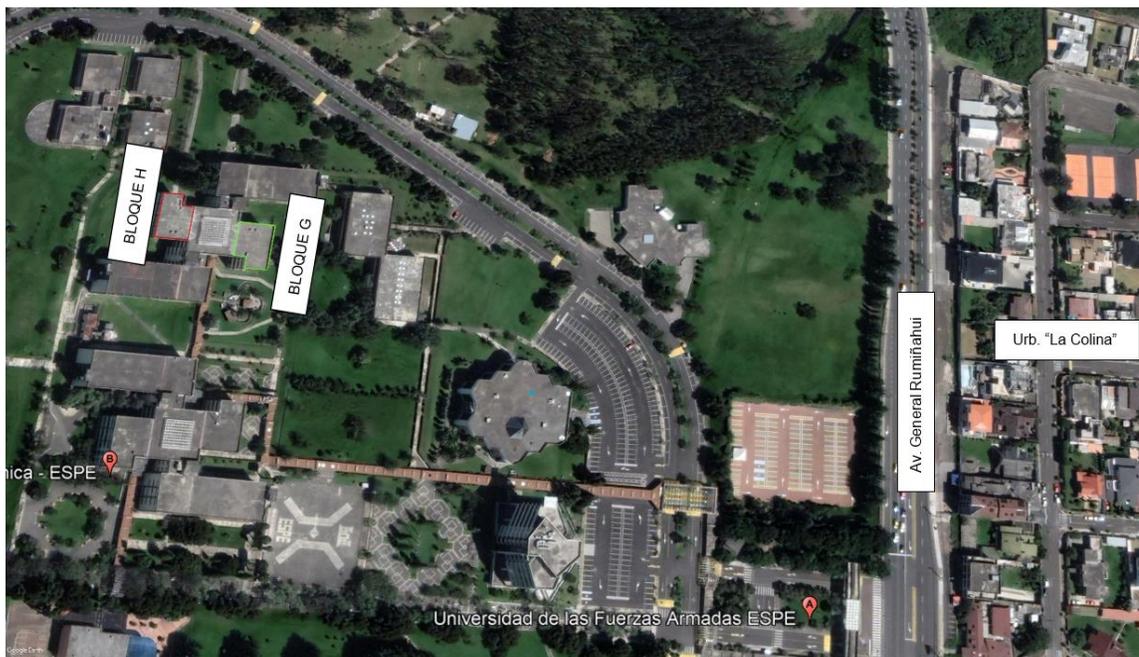
#### Caracterización de las estructuras

##### Ubicación

Los bloques se analizarán en el presente proyecto que pertenecen al Campus Sangolquí de la Universidad de Fuerzas Armadas UFA-ESPE, dichos edificio objeto de estudio del presente trabajo de titulación, se encuentra ubicado en Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, en la intersección de las calles Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, frente a la urbanización “La Colina” (ver Figura 24). Las coordenadas geográficas de cada bloque están delimitadas en la tabla 1 basándonos al sistema geodésico WGS84-17.

##### Figura 24

*Ubicación de los dos bloque analizados en el proyecto UFA-ESPE.*



*Nota:* Recuperado de Google Earth 2022.

**Tabla 1**

*Coordenadas geografías de los bloques analizados en en el proyecto UFA-ESPE.*

<b>Descripción</b>	<b>Punto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Bloque G	<b>1</b>	0°18'46.74" S	78°26'42.69" O
	<b>2</b>	0°18'46.83" S	78°26'42.05" O
	<b>3</b>	0°18'47.64" S	78°26'42.13" O
	<b>4</b>	0°18'47.62" S	78°26'42.55" O
	<b>5</b>	0°18'47.39" S	78°26'42.54" O
	<b>6</b>	0°18'47.37" S	78°26'42.77" O
Bloque H	<b>1</b>	0°18'47.08"S	78°26'43.56"O
	<b>2</b>	0°18'47.03"S	78°26'44.15"O
	<b>3</b>	0°18'46.22"S	78°26'44.06"O
	<b>4</b>	0°18'46.25"S	78°26'43.72"O
	<b>5</b>	0°18'46.44"S	78°26'43.73"O
	<b>6</b>	0°18'46.49"S	78°26'43.51"O

### **Referencia arquitectónica y estructural**

Para la ejecución del Proyecto, acudimos como primera instancia en busca de los planos arquitectónicos y estructurales lo cual nos dirigimos al departamento de desarrollo físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Los planos arquitectónicos fueron facilitados de manera inmediata mientras que los estructurales los obtuvimos con ayuda del tutor del Proyecto. También para verificar lo que está en los planos, solicitamos los libros de obra y planillas para tener información adicional sobre las características de los materiales, las mismas que más adelante serán comprobados por distintos ensayos.

### **Problema estructural**

Producto de los cambios en el análisis y diseño estructural, condiciones de peligro, exposición, y vulnerabilidad en las estructuras de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE campus Sangolquí, refiriéndonos a los bloques G y H. Aparece la necesidad de evaluar los riesgos de sus edificaciones teniendo en cuenta como primer punto el análisis de vulnerabilidad estructural mediante la evaluación del comportamiento actual. En este estudio se tomará como referencia la normativa NEC-15 la misma que se fundamenta en FEMA P-154, y también se usará la propia FEMA P-154 actualizada. Adicional se empleará la normativa latinoamericana FUNVISIS. Adicional se instrumentará la edificación para obtener los valores experimentales que validarán los resultados analíticos y de las normativas anteriores.

### **Geometría general**

Las estructuras a analizar se componen de un bloque separado por una junta de 30 cm del bloque central. Estas presentan una configuración regular en elevación e irregular en planta. Son edificaciones de estructura metálica que se distribuyen en 4 pisos para uso de aulas de laboratorios de computación y laboratorios de biotecnología.

### **Descripción general**

Las edificaciones que son objeto de estudio están construidas por estructura metálica, tanto en planta, como en elevación. Las edificaciones cumplen con la función de aulas para estudiantes y laboratorios de biotecnología y de computación. Las estructuras están compuestas por pórticos regulares en sus dos sentidos predominantes. Los bloques G y H trabajan de manera autónoma debido a que no se encuentran conectados al bloque central, cumpliendo con la función de que, si en un caso de que se presente un evento telúrico, las estructuras no choquen entre sí y no se

generen daños. La losa del edificio es tipo Deck, no cuenta con escaleras y la cubierta es inaccesible.

**Figura 25**

*Fachada lateral del bloque G de aulas y laboratorios de computacion UFA-ESPE*



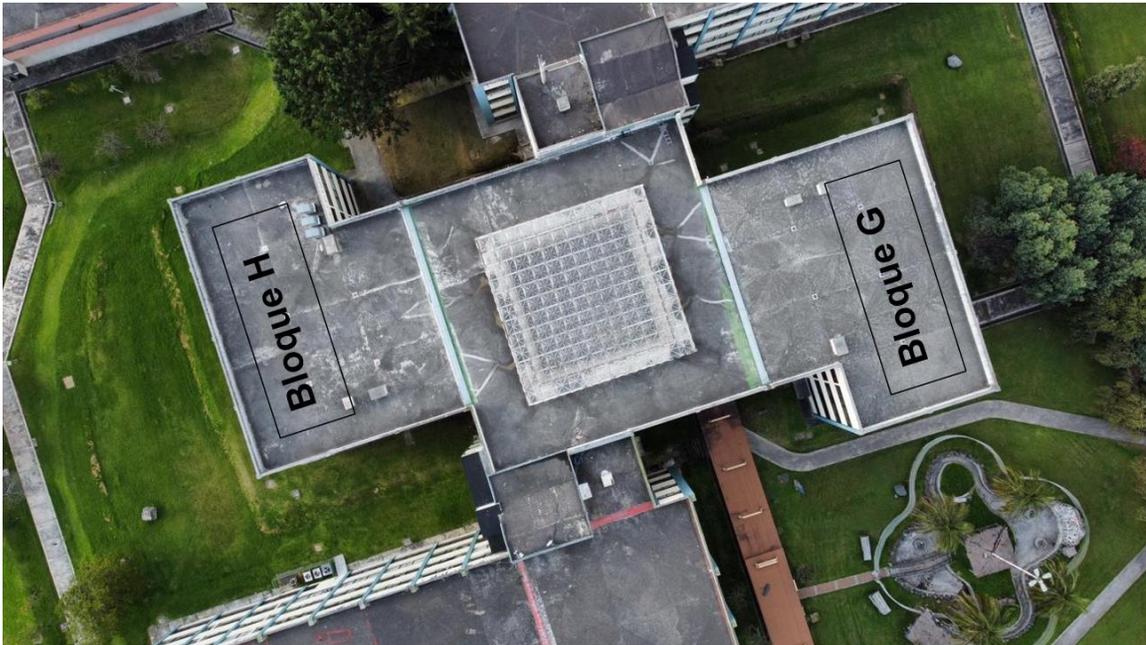
**Figura 26**

*Fachada lateral del bloque H de aulas y laboratorios de computacion UFA-ESPE*



**Figura 27**

*Vista aerea de los bloques G y H, de las aulas y laboratorios de computación UFA-ESPE*



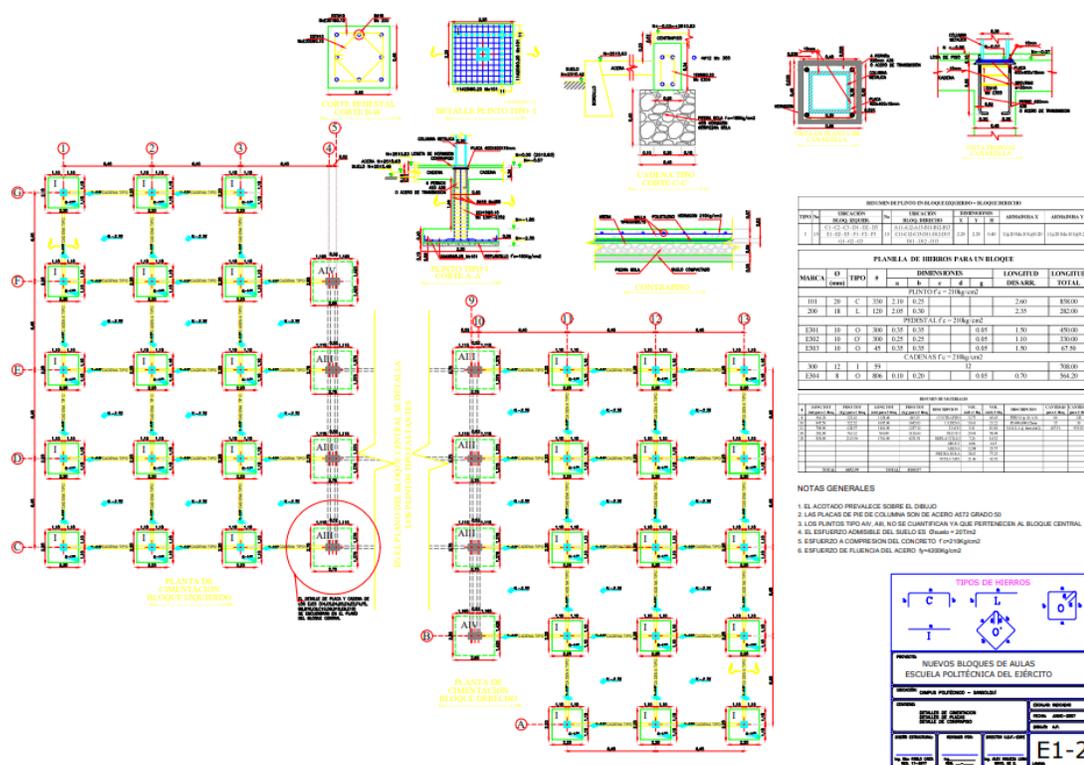
*Nota:* fotografías capturadas por el grupo de trabajo del presente Proyecto.

***Descripción en planta de los bloques***

Los ejes locales tienen la siguiente referenciación en la edificación: el “eje x” de la edificación se alinea con el sentido corto de la edificación, mientras que el “eje y” se alinea con el sentido largo de la edificación, el “eje z” es perpendicular a los ejes “x” y “y”, y se alinea con el eje vertical en una vista en elevación de la estructura, tal como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Planos de la cimentación y columnas del Bloque G y H.

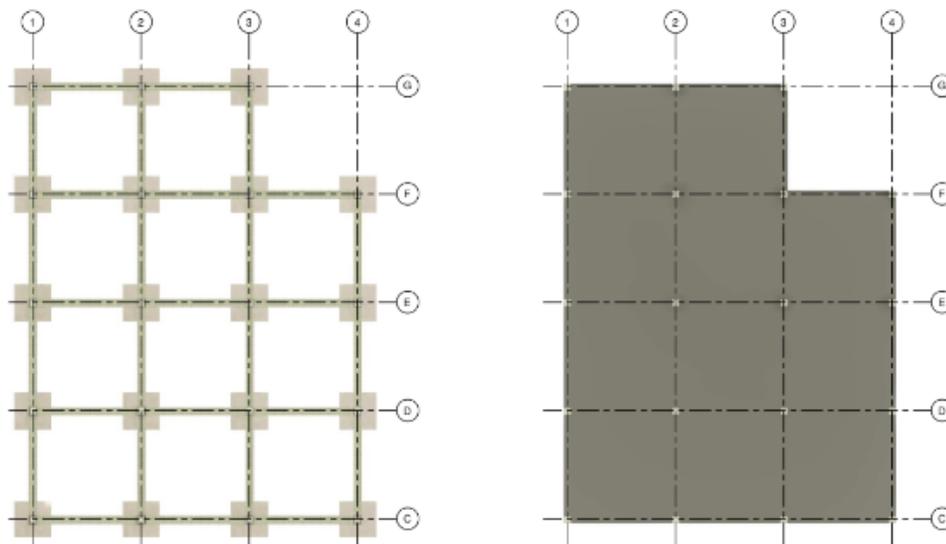


Nota: Recuperado del departamento de desarrollo físico de la UFA-ESPE.

Para el bloque G en el eje x, los pórticos de la estructura están compuesta por 3 vanos de 6.45m cada uno, mientras que en el eje y, los pórticos están compuestos por 4 vanos de 6.45 m de igual manera cada uno (ver Figura 30). Y lo mismo para el bloque H ambos son estructuras similares con efecto espejo como lo muestra en la figura 29.

**Figura 29**

*distribucion en planta del bloque H de la UFA-ESPE.*

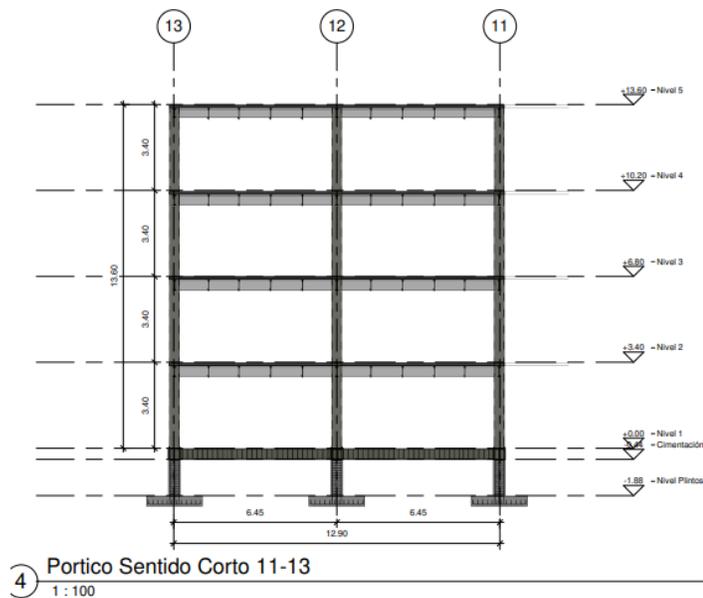


***Descripción en elevación de las edificaciones***

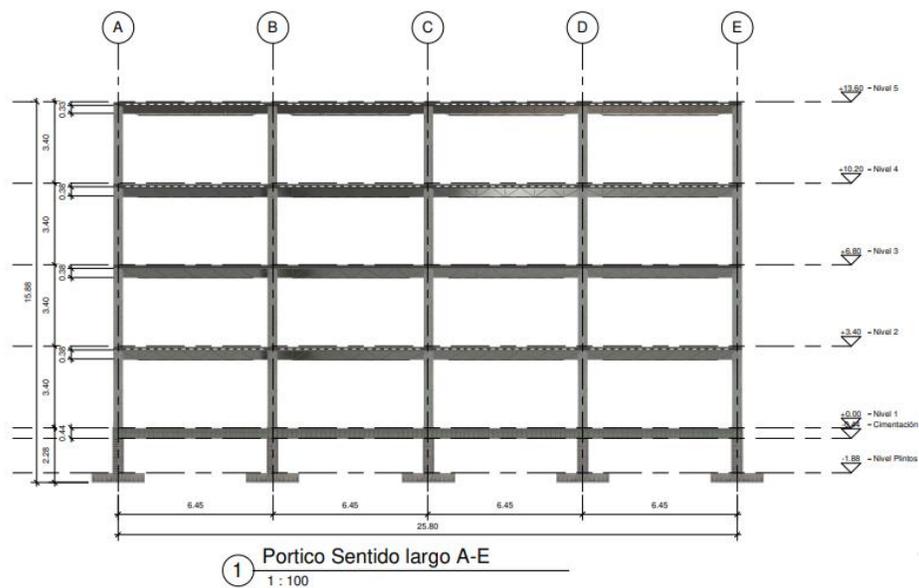
Los niveles de la estructura se encuentran distribuidos de manera regular cada 3.40 m, dado una altura total del edificio de 13.60 m desde el nivel natural del terreno. La profundidad de cimentación es de 2.3 m. desde el nivel N +0.00m, nivel natural del terreno.

Figura 30.

Pórticos de la estructura. a) Pórtico en sentido "x". b) Pórtico en sentido "y".



(a)



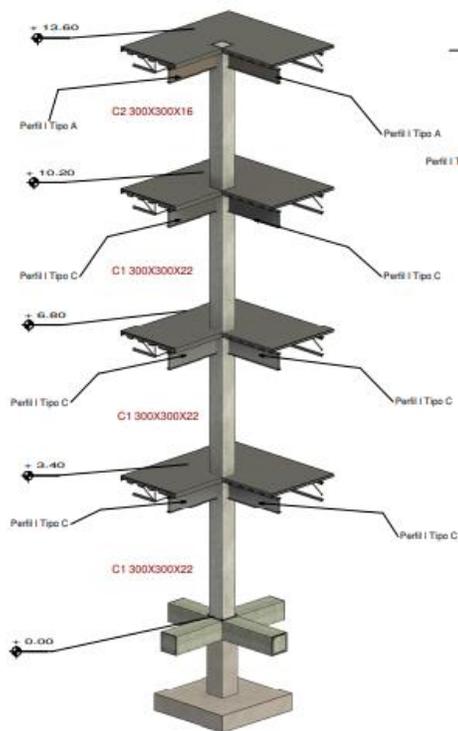
(b)

### ***Tipos de apoyos***

Como se muestra en la Figura 31, la cimentación de las edificaciones de los Bloques G y H está compuestas por plintos aislados, además, se logra apreciar la presencia de vigas tipo “cadena de cimentación” de 34x20 cm, las cuales conectan a todas las columnas a una profundidad de 7 cm del nivel N +0.00m. A partir de la descripción expuesta, se consideran a los apoyos de las edificaciones de los Bloques G y H como columnas empotradas al nivel N +0.00m.

**Figura 31**

*Detalle de columna con su cimentación respectiva de los bloque G y H de UFA-ESPE.*



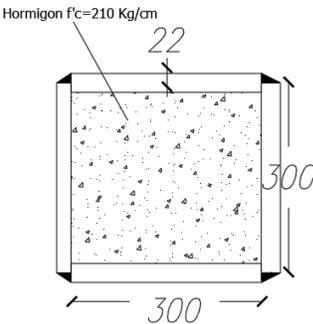
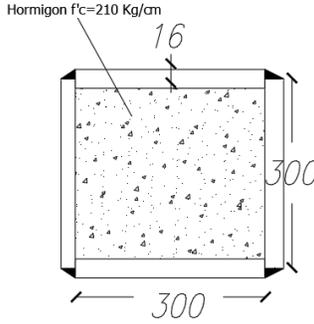
① Corte Columna 3D  
1:25

### Detalle de columnas de las edificaciones

Las columnas de las edificaciones bloque G y H, presentan dos tipos de columnas debido a que en la planta 4 las columnas tienen un menor espesor respecto a las otras.

**Tabla 2**

*Detalle de columnas: posición, sección transversal y refuerzo de acero.*

Cuadro de columnas		
	C1	C2
Dimensiones	300*300*22 mm	300*300*16 mm
Número	62	14
Columna		
Tercera planta N +10.20m	5	14
Segunda Planta N +6.80m	19	0
Primera Planta N +3.40m	19	0
Planta Baja N +0.00m	19	0

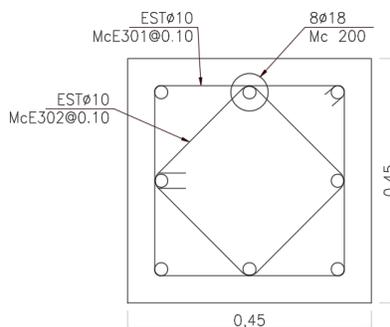
---

**Cuadro de columnas**


---

Cimentación

N -2.35m



Armadura

8Ø18mm

Estribos

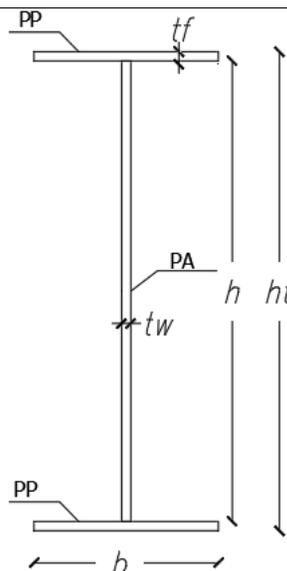
2Ø10mm@10cm

---

**Detalle de Vigas de las edificaciones**

La estructura metálica cuenta con vigas tipo I, de longitud en sentido X es de 6.106 m y en sentido Y de 6.128m.

En los "Anexos" se adjunta los planos estructurales donde se detalla las dimensiones, ubicación de la viga perfil I tipo D y las vigas secundarias de alma abierta. En las Tablas 3 y Tabla 4 se muestra las vigas que componen los entrepisos y el piso de cubierta, respectivamente.

**Tabla 3***Resumen de vigas de los entre pisos y cubierta.***Cuadro de Vigas principales Tipo I****Viga**

Tipo	A					C					D				
Dimensiones	<b>h</b>	<b>tw</b>	<b>b</b>	<b>tf</b>	<b>hf</b>	<b>h</b>	<b>tw</b>	<b>b</b>	<b>tf</b>	<b>hf</b>	<b>h</b>	<b>tw</b>	<b>b</b>	<b>tf</b>	<b>hf</b>
(mm)	300	8	100	15	330	350	8	100	15	380	350	8	122	15	380
Cantidad	Sentido X: 14					Sentido X: 18					Sentido X: 24				
	Sentido Y: 15					Sentido Y: 45					Sentido Y: 0				
Tercera planta	Sentido X: 14					Sentido X: 0					Sentido X: 0				
N +13.42m	Sentido Y:15					Sentido Y: 0					Sentido Y: 0				
Segunda Planta	Sentido X:0					Sentido X: 6					Sentido X: 8				
N +10.02m	Sentido Y:0					Sentido Y: 15					Sentido Y: 0				

---

**Cuadro de Vigas principales Tipo I**


---

Primera Planta	Sentido X: 0	Sentido X: 6	Sentido X: 8
N +6.62m	Sentido Y:0	Sentido Y: 15	Sentido Y: 0
Planta Paja	Sentido X: 0	Sentido X: 6	Sentido X: 8
N +3.22 m	Sentido Y:0	Sentido Y: 15	Sentido Y: 0

---

Se colocaron vigas más robustas en la planta 1, 2 y 3, porque deben soportar más carga a comparación de las vigas en la planta 4 que al no existir acceso soporta cargas menores. La viga tipo D se colocaron en sentido X, entre las vigas perimetrales.

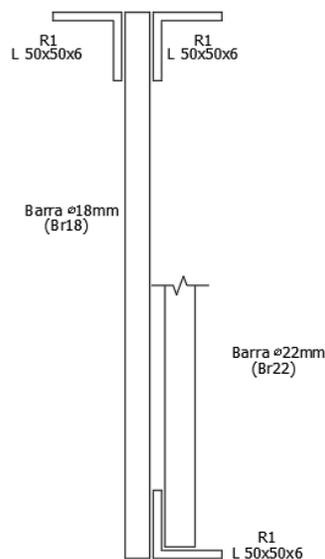
**Tabla 4***Resumen de las vigas de alma abierta*


---

**Cuadro de Vigas de alma abierta**


---

Viga



Cantidad

165

Tercera planta

Sentido Y: 33

N +13.42m

---

**Cuadro de Vigas de alma abierta**


---

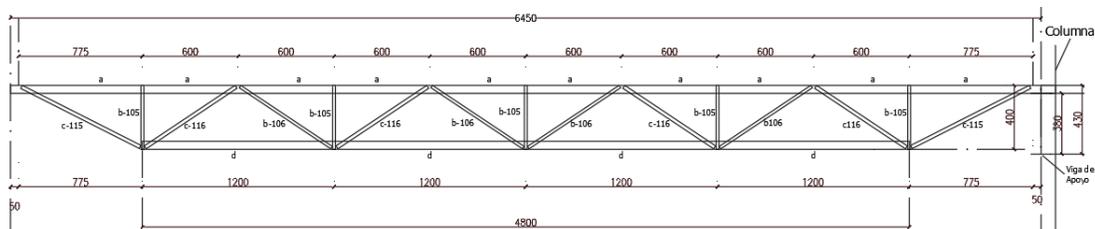
Segunda Planta	Sentido Y: 44
N +10.02m	
Primera Planta	Sentido Y: 44
N +6.62m	
Planta Baja	Sentido Y: 44
N +3.22 m	

---

Las vigas de alma abierta se encuentran en sentido Y, en las vigas perimetrales deben extenderse hasta el filo de la columna.

**Figura 32**

*Detalle de Viga de Alma abierta de la estructura de los bloques G y H, UFA-ESPE*



*Nota:* recuperando de los planos estructurales de los bloques G y H.

La configuración de la viga de alma abierta consta de dos placas de acero tipo L en la parte superior y en la parte inferior una placa tipo L. La configuración de cómo están colocadas las barras  $\phi 18 \text{ mm}$  y de  $\phi 22 \text{ mm}$  se indican en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Configuración de Viga de Alma Abierta*

Viga de Alma Abierta	
Tipo	Observación
a	2L50x20x6 (R1-100)
b	Barra $\varnothing$ 18mm (Br18)
c	Barra $\varnothing$ 22mm (Br22)
d	1L 50x50x6 (R1-101)

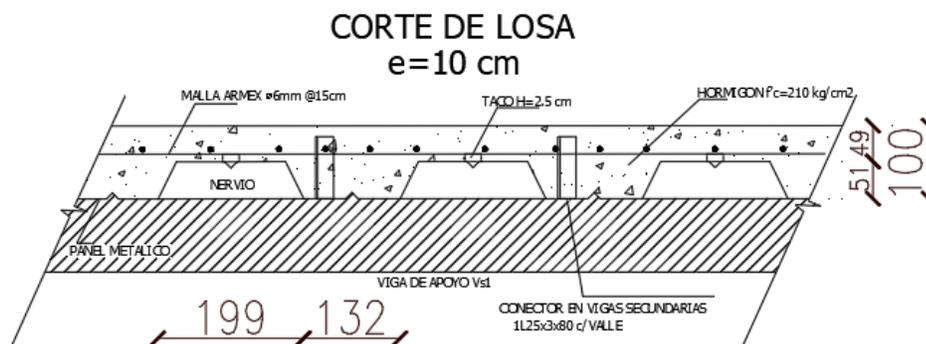
*Nota:* recuperando de los planos estructurales de los bloques G y H.

### **Detalle de losa de las edificaciones**

En los cuatro (4) pisos de la edificación la losa es de tipo Deck, con un espesor de 10 cm, constituida por la placa colaborante, con nervios de 19.9 cm de longitud, conectores de corte en las vigas secundarias, una malla de temperatura separado a 2.5 cm del nervio de la placa colaborante y hormigón de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver tabla 6)

### **Figura 33**

*Corte de la losa tipo deck de las edificaciones.*



*Nota:* recuperando de los planos estructurales de los bloques G y H.

La losa está conformada de un panel metálico Deck tiene un espesor de 0.65mm, malla de temperatura de Armex con  $\varnothing$  6mm @ 15 cm y conectores de corte 1L25x3x80 en cada valle. Para facilitar la compresión, se presenta en la Tabla los parámetros geométricos con los que cuenta la losa Deck:

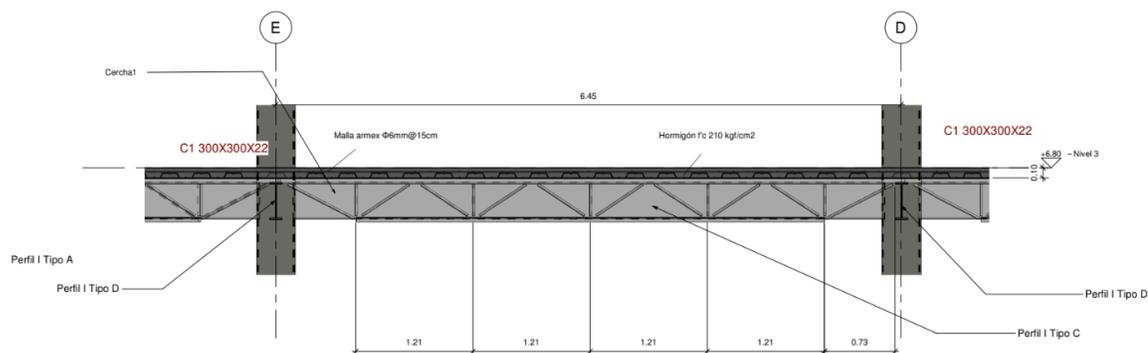
**Tabla 6**

Parámetros geométricos de la losa.

Elemento	Valor	Unidad
Altura de losa	10.00	cm
Espaciamiento de nervio	19.9	m
Espaciamiento entre nervios	13.2	cm

**Figura 34**

*Detalle del conjunto de viguetas, losa y columna de las edificaciones del Proyecto.*



### **Esfuerzo de fluencia de acero**

Los valores de los esfuerzos de fluencia del acero de refuerzo fueron obtenidos de las especificaciones técnicas inmersas en los planos arquitectónicos y estructurales otorgados por el departamento de Desarrollo Físico de la universidad. Para el caso de los cuatro pisos, el esfuerzo del esfuerzo de fluencia del acero es de  $4200 \text{ kgf/cm}^2$ ,

esto debido a que esta fase de construcción se llevo a cabo en el año entre el año 2008 al 2010.

### **Resistencia a la compresión del hormigón**

El valor de la resistencia del hormigón de relleno de las columnas es obtenido de los planos estructurales.

$$f'c = 210 \frac{kgf}{cm^2}$$

### **Módulo de elasticidad especificado**

El módulo elasticidad para análisis sísmicos según el Código Ecuatoriano de Construcción es:

$$E_c = 15100 \times \sqrt{f'c} \quad (19)$$

Donde:

$f'c$  Resistencia a compresión del hormigón [ $kg/cm^2$ ],

$E_c$  Módulo de elasticidad del hormigón [ $kg/cm^2$ ].

Entonces,

$$E = 15100 \times \sqrt{210}$$

$$E = 218819.79 [kg/cm^2]$$

### **Modelamiento tridimensional de las edificaciones**

Para realizar el modelamiento de las edificaciones estructurales empleo el software llamado Revit que facilita realizar un modelamiento de manera detallada y minuciosa de las edificaciones, este software es muy útil para trabajos de la rama de la

arquitectura o de ingeniería. Ya que, cuenta con una simulación tridimensional (3D) permitiendo obtener una visualización cercana a la realidad del proyecto de construcción. En la Figura 35 se muestra la modelación de las edificaciones que fueron realizadas de acuerdo a los planos estructurales, arquitectónicos y las secciones descritas anteriormente.

### Figura 35

Modelos en 3D de las edificaciones UFA-ESPE. a) Bloque H b) Bloque G



(a)



(b)

### **Cargas en las edificaciones**

Las cargas actuantes en las estructuras de las edificaciones son indispensables para procesar y obtener un análisis estructural por lo que a continuación se realizara detalladamente el cálculo de las cargas permanentes, mientras que el valor adoptado correspondiente a las cargas temporales será de acuerdo a su ocupación, además el cálculo del cortante basal de diseño de la estructura se realizara en base a la Normativa Ecuatoriano de la Construcción NEC-15.

Cabe mencionar que para el cálculo de cargas y peso total de la estructura se realizara un solo calculo por ambos edificios. Porque ambos edificios son idénticos a diferencia el bloque H de G es la posición. (Ver figuras 27 y 35)

### ***Carga muerta o permanente***

La carga muerta es cualquier elemento constructivo o estructural que actúa sobre la estructura. El cálculo de cargas se realiza en un metro cuadrado de superficie de la estructura teniendo en cuenta la información obtenida de los planos estructurales y arquitectónico:

Según (McCormac, 2011), las cargas muertas son cargas cuya magnitud permaneces constantes, y en un mismo lugar; el peso muerto total incluye las siguientes cargas:

- Peso Propio
  - Columnas
  - Vigas
  - Losa
- Peso de Acabados
- Peso de Paredes

Tradicionalmente se necesita saber el peso absoluto de las vigas y columnas en cada piso para poder calcular las cargas muertas, este valor se divide para el área útil de la planta.

- **Peso propio de losa**

El peso de la losa se calculará por metro cuadrado, en este caso la estructura en con placa colaborante o losa Deck. Los cálculos se realizarán en base a las propiedades de la sección dada por importaceros.

### Figura 36

Carga de peso propio según la altura de losa

Espesor de placa	Altura de Losa		Volumen Hormigón	Cargas de peso propio (Kg/m <sup>2</sup> )		
	Hormigón	Placa + Hormigón		Hormigón	Placa	Total
mm	cm	cm	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
0,65	5	10,50	0,08	188	6,38	194
	6	11,50	0,09	212	6,38	218
	8	13,50	0,11	259	6,38	265
Peso Placa (Kg/m <sup>2</sup> ) 6,38	10	15,50	0,13	306	6,38	312
	12	17,50	0,15	353	6,38	360

Nota: Recuperado de (Importaceros, s.f.)

De los planos estructurales se obtiene que la placa tiene un espesor de 0,65 mm y 10 cm de losa fundida, por ende, consideramos según la Figura 36 que la carga de peso propio de la losa Deck es de:

$$P_{losa} = 312 \text{ kg/m}^2$$

### **Peso propio de las vigas**

Para el cálculo de vigas, se tiene dos tipos de vigas que serían las principales tipo I y las secundarias que son las vigas de Alma Abierta. En el cálculo de las vigas principales se calculó el volumen que ocupan las vigas y se procederá a multiplicar por el peso específico que se establece para el acero en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

**Tabla 7**

*Volúmenes de las vigas tipo I principales de la estructura.*

<b>Cuadro de Volúmenes de Vigas principales Tipo I</b>			
Tipo	A	C	D
Dimensiones	330x100x8x15	380x100x8x15	380x122x8x15
Área	0.0054 m <sup>2</sup>	0.0058 m <sup>2</sup>	0.00646 m <sup>2</sup>
Volumen de vigas en dirección X	0.0054 m <sup>2</sup> * 6.106m = 0.0329 m <sup>3</sup>	0.0058 m <sup>2</sup> * 6.106m = 0.0354 m <sup>3</sup>	0.00646 m <sup>2</sup> * 6.106m = 0.0394 m <sup>3</sup>
Volumen de vigas en dirección Y	0.0054 m <sup>2</sup> * 6.128m = 0.0330 m <sup>3</sup>	0.0058 m <sup>2</sup> * 6.128m = 0.0355 m <sup>3</sup>	0.00646 m <sup>2</sup> * 6.128m = 0.0396m <sup>3</sup>
Volumen de vigas en dirección X total	0.0329 m <sup>3</sup> * 1m = 0.4606 m <sup>3</sup>	0.0354 m <sup>3</sup> * 18m = 0.6372 m <sup>3</sup>	0.0394 m <sup>3</sup> * 24m = 0.9456 m <sup>3</sup>
Volumen de vigas en dirección Y total	0.0330 m <sup>3</sup> * 1m = 0.495 m <sup>3</sup>	0.0355 m <sup>3</sup> * 45m = 1.5975 m <sup>3</sup>	0.0394 m <sup>3</sup> * 0 = 0 m <sup>3</sup>
Total	0.9556 m <sup>3</sup>	2.2347 m <sup>3</sup>	0.9456 m <sup>3</sup>

$$A_{\text{piso}} = 471.38 \text{ m}^2$$

$$Peso_{\text{vigas I}} = (0.9556 + 2.2347 + 0.9456) \text{ m}^3 * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 32466.82 \text{ kg}$$

$$PP_{\text{vigas I}} = \frac{Peso_{\text{vigas}}}{A_{\text{piso}}} = \frac{32466.82 \text{ kg}}{471.38 \text{ m}^2} = 68.88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Mediante el Revit, se obtuvo de manera más sencilla el volumen de Vigas de alma abierta obteniendo los siguientes valores en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Volúmenes de las viguetas de alma abierta de la estructura.*

<b>Volúmenes de Vigas de alma abierta</b>	
<b>Volumen de viga</b>	0.0092 m <sup>3</sup>
<b>Cantidad</b>	165
<b>Vol. Total</b>	0.0092 m <sup>3</sup> * 165 = 1.52 m <sup>3</sup>

$$Peso_{\text{vigas sec}} = (1.52) \text{ m}^3 * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 11932.0 \text{ kg}$$

$$PP_{\text{vigas sec}} = \frac{Peso_{\text{vigas sec}}}{A_{\text{piso}}} = \frac{11932.0 \text{ kg}}{471.38 \text{ m}^2} = 25.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{\text{vigas}} = 68.88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 25.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 94.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### **Peso Propio en columnas**

La mayoría de columnas son de tipo mixtas por lo tanto usa un perfil de acero y está rellena de hormigón, por ende, se facilita representar los volúmenes de hormigón y acero en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Volúmenes de las columnas de la estructura.*

<b>Cuadro de cálculo de volúmenes en columnas</b>		
<b>Columna Tipo</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Dimensiones	300*300*22 mm	300*300*16 mm
Área de Perfil de acero	0.3 * 0.022 * 4	0.3 * 0.016 * 4
	= 0.0264 m <sup>2</sup>	= 0.0192 m <sup>2</sup>
Volumen de Perfil de acero	0.0264 m <sup>2</sup> * 3.40 m	0.0192 m <sup>2</sup> * 3.40 m
	= 0.08976m <sup>3</sup>	= 0.06528 m <sup>3</sup>
Volumen Total de Perfil de acero	0.08976m <sup>3</sup> * 62	0.06528 m <sup>3</sup> * 14
	= 5.565 m <sup>3</sup>	= 0.261 m <sup>3</sup>
Área de Hormigón en Columna	0.3m * 0.278m	0.3m * 0.284m
	= 0.0834 m <sup>2</sup>	= 0.0852 m <sup>2</sup>
Volumen de Hormigón en Columna	0.0834 m <sup>2</sup> * 3.4 m	0.0852 m <sup>2</sup> * 3.4 m
	= 0.2836 m <sup>3</sup>	= 0.2897 m <sup>3</sup>
Volumen Total de Hormigón en Columna	0.2836 m <sup>3</sup> * 62	0.2897 m <sup>3</sup> * 14
	= 17.58 m <sup>3</sup>	= 4.06 m <sup>3</sup>

$$Peso_{col\ acero} = (5.565 + 0.261)m^3 * 7850 \frac{kg}{m^3} = 45734.1 kg$$

$$PP_{col\ acero} = \frac{Peso_{vigas\ sec}}{A_{piso}} = \frac{45734.1 kg}{471.38m^2} = 97.02 \frac{kg}{m^2}$$

$$Peso_{col\ horm} = (17.58 + 4.06)m^3 * 2200 \frac{kg}{m^3} = 47608 kg$$

$$PP_{col\ horm} = \frac{Peso_{vigas\ sec}}{A_{piso}} = \frac{47608 kg}{471.38m^2} = 101.0 \frac{kg}{m^2}$$

$$PP_{Col} = 97.02 \frac{kg}{m^2} + 101.0 \frac{kg}{m^2} = 198.02 \frac{kg}{m^2}$$

### **Peso Propio de Mampostería**

En cuanto al peso de paredes se basará en el trabajo de titulación de (Páez, 2014), el cual determina el peso de la mampostería por unidad de área para las condiciones constructivas propias de la región, los resultados de la investigación se los presenta a continuación en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Pesos promedio de mampostería de bloque por unidad de superficie.*

		<b>Bloque prensado</b>			<b>Bloque alivianado</b>	
<b>Ancho de Bloque [cm]</b>		10	15	20	10	15
<b>Peso de pared [kgf/m<sup>2</sup>]</b>		158.37	189.94	240.96	111.17	149.03
<b>Densidad de pared [m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Carga por unidad de superficie [kg/m<sup>2</sup>]</b>					
<i>Valor promedio</i>	1.477	233.91	280.54	355.89	164.2	220.12
<i>Valor máximo</i>	2.006	317.63	380.95	483.28	222.97	298.9
<i>Valor mínimo</i>	1.009	159.84	191.71	243.2	112.21	150.42

*Nota:* Recuperado de (Páez, 2014)

La mampostería de los bloques G y H está compuesta de paredes de bloque prensado y antepechos, tienen un espesor aproximado de 24 cm, de donde, 20 cm corresponden al ancho del bloque y los otros 4 cm al enlucido, 2 cm por cada cara de la mampostería. En base a la investigación de (Páez, 2014), el peso de la mampostería en la edificación por unidad de superficie es:

$$w_p = 243,20 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

### **Peso Propio de acabados**

El peso de acabados considera a todos aquellos componentes no estructurales de la estructura de carácter inamovible e invariable en el tiempo. Los acabados que se tomará en cuenta para el cálculo de la carga muerta será la masilla de aplicación de cerámica, el mortero para enlucir las paredes, la cerámica y el techo que es de Armstrong, no se tomara en cuenta elementos de plomería.

**Tabla 11**

*Componentes de la carga de acabados*

<b>Parámetro</b>	<b>Espesor [cm]</b>	<b>Peso Esp. [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Peso [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Referencia</b>
Masilla de aplicación de cerámica	1	1640	16.40	(NEC - SE - CG, 2014), Sección 4
Mortero – Cemento – Arena 1:3	4	2000	80	(NEC - SE - CG, 2014), Sección 4
Cerámica	1	1800	18	(NEC - SE - CG, 2014), Sección 4
Techo Armstrong	-	-	5.2	Itdam
<b>Total</b>			<b>119.6 [kg/m<sup>2</sup>]</b>	

En el peso propio de acabados no se consideró en la carga elementos no estructurales de baja influencia, obteniendo el valor de:

$$w_a = 120 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

### ***Peso muerto en cubierta***

La cubierta al no tener los mismos elementos y acabados que las otras losas, su peso cambia, el peso muerto en el piso de cubierta no considera la totalidad de la carga de paredes, ni la de los acabados. Al no ser una cubierta accesible solo cuenta con un pretil de 24 cm de espesor y 1.18 m de alto y no cuenta con cerámica. Tomando en cuenta los factores mencionados se puede determinar el peso en cubierta:

$$w_p = \frac{106.55 \text{ m}^2}{471.38 \text{ m}^2} \times 240.96 \text{ kgf/m}^2$$

$$w_p = 54.47 \text{ [kgf/m}^2\text{]} \quad (\text{Cubierta})$$

Donde:

- 106.55 m<sup>2</sup>: es el área total de la pared (pretil),
- 471.38 m<sup>2</sup>: es el área total del piso,
- 240.96 kg/m<sup>2</sup>: es el peso específico de la mampostería, (Páez, 2014)

Las Tablas 12 y 13 resumen todos los valores de las cargas permanentes presentes en los entresijos, y en el piso de cubierta, respectivamente. Además, se muestra el peso muerto total aplicado por unidad de área en cada piso.

**Tabla 12***Cargas permanentes aplicadas en los pisos intermedios*

<b>Carga Permanente (Entrepiso)</b>				
P.P. Columnas	$w_1$	198,02		$kg/m^2$
P.P. Vigas	$w_2$	94,20		$kg/m^2$
P.P. Losa	$w_3$	312,00		$kg/m^2$
P. Paredes	$w_4$	243,20		$kg/m^2$
P. Acabados	$w_5$	120,00		$kg/m^2$
Peso permanente total	$w_D$	<b>967,42</b>		$kg/m^2$

**Tabla 13***Cargas permanentes aplicadas en el piso de cubierta*

<b>Carga Permanente (Cubierta)</b>				
P.P. Vigas	$w_2$	94.2		$kg/m^2$
P.P. Losa	$w_3$	312.00		$kg/m^2$
P. Paredes	$w_4$	54.47		$kg/m^2$
P. Acabados	$w_5$	80.00		$kg/m^2$
Peso permanente total	$w_D$	<b>540.67</b>		$kg/m^2$

***Cargas Viva o Temporal***

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014, en el código NEC – SE – CG, recomienda para oficinas que se adopte un valor de 240 [ $kgf/m^2$ ]. Este valor es considerado válido porque en la planta baja se encuentra el Departamento de Ciencia de la Computación y en los pisos superiores son Aulas de computación.

Para la cubierta la Norma, en su código NEC – SE – CG, recomienda para cubiertas sin acceso usar un valor de 70 [kgf/m<sup>2</sup>]. Se trabajará con un valor más conservador de 100 [kgf/m<sup>2</sup>]

La Tabla 14 presenta las cargas temporales adoptadas para los pisos intermedios, y para el piso de cubierta.

**Tabla 14**

*Cargas temporales presentes en la edificación*

<b>Cargas Temporales Aplicadas</b>				
<b>Piso</b>	<b>Zona</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Entrepiso	Oficinas	240.0	kg/m <sup>2</sup>	(NEC - SE - CG, 2014) Sección 4.2
Cubierta	Todo el piso	100.0	kg/m <sup>2</sup>	(NEC - SE - CG, 2014) Sección 4.2

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

### **Cortante basal**

De igual manera para calcular el cortante basal ( $V$ ), se realizará un solo cálculo por ambos edificios. Porque ambos edificios son idénticos, a diferencia el bloque H de G es que está rotado en forma de espejo (Ver figuras 27 y 35).

Con el fin de analizar el comportamiento sísmico de la estructura, se establece el espectro de respuesta de aceleraciones para la edificación, espectro definido por los lineamientos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014, en su código NEC – SE – DS, en el cual se recomienda el uso de la siguiente ecuación 1.1 para la determinación de la fuerza cortante basal de diseño, para un análisis estático lineal:

$$V = \frac{I \times S_a(T_a)}{R \times \emptyset_P \times \emptyset_E} \times W \quad (20)$$

Donde:

$V$  Cortante Basal de diseño según la NEC-SE-DS

$I$  Factor de importancia

$S_a(T_a)$  Espectro de diseño en aceleración

$T_a$  Periodo de vibración de la estructura

$R$  Factor de reducción de resistencia sísmica

$\phi_p$  y  $\phi_E$  Coeficiente de configuración en elevación y planta

$W$  Carga sísmica reactiva

Para calcular el cortante basal de diseño según la (NEC-15, 2015), en primer lugar, se debe establecer parámetros que están estipulados en la norma y estos van de acuerdo a las cualidades de la estructura además del lugar donde esta se encuentra y los datos anteriormente enlistados.

- Factor de importancia ( $I$ )

La función del factor de importancia es incrementar la demanda sísmica de diseño para la estructura, como bien sabemos la estructura analizada eta destinada para aulas de computación y laboratorios de biotecnología, por lo que optaremos un factor de importancia de 1,3 que corresponde a estructuras de ocupación especial.

### Figura 37

*Factores de reducción de resistencia sísmica R.*

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

- Factor de reducción de resistencia sísmica (R)

El factor de reducción sísmica R depende de las cualidades de la estructura, para esto necesitaremos la ayuda de los planos estructurales para verificar el detalle de la ubicación de vigas, viguetas, y columnas, como bien sabemos la estructura es netamente de estructura metálica.

### Figura 38

*Factores de reducción de resistencia sísmica R.*

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
<b>Sistemas Duales</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas)	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
<b>Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada</b>	
<b>Pórticos resistentes a momento</b>	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electro soldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
<b>Muros estructurales portantes</b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

- Coeficiente de regularidad en planta y elevación ( $\phi_p$  y  $\phi_E$ )

Una estructura es regular en planta y en elevación cuando poseen configuraciones estructurales de acuerdo a la NEC (ver Figura 13, Cap. 2), mientras que se considera irregular si presenta las siguientes configuraciones (ver Figura 1, Cap. 2).

Para la estructura analizada es regular tanto en planta como en elevación.

Si se presentan irregularidades tanto en planta como en elevación la normativa NEC-15 sugiere utilizar los siguientes valores, (ver Figuras 15 y 16, Cap. 2).

El coeficiente de regularidad en planta y en elevación se calculan a partir de las ecuaciones (21 y 22)

$$\phi_P = \phi_{PA} \times \phi_{PB} \quad (21)$$

Donde

$\phi_P$  Coeficiente de regularidad en planta

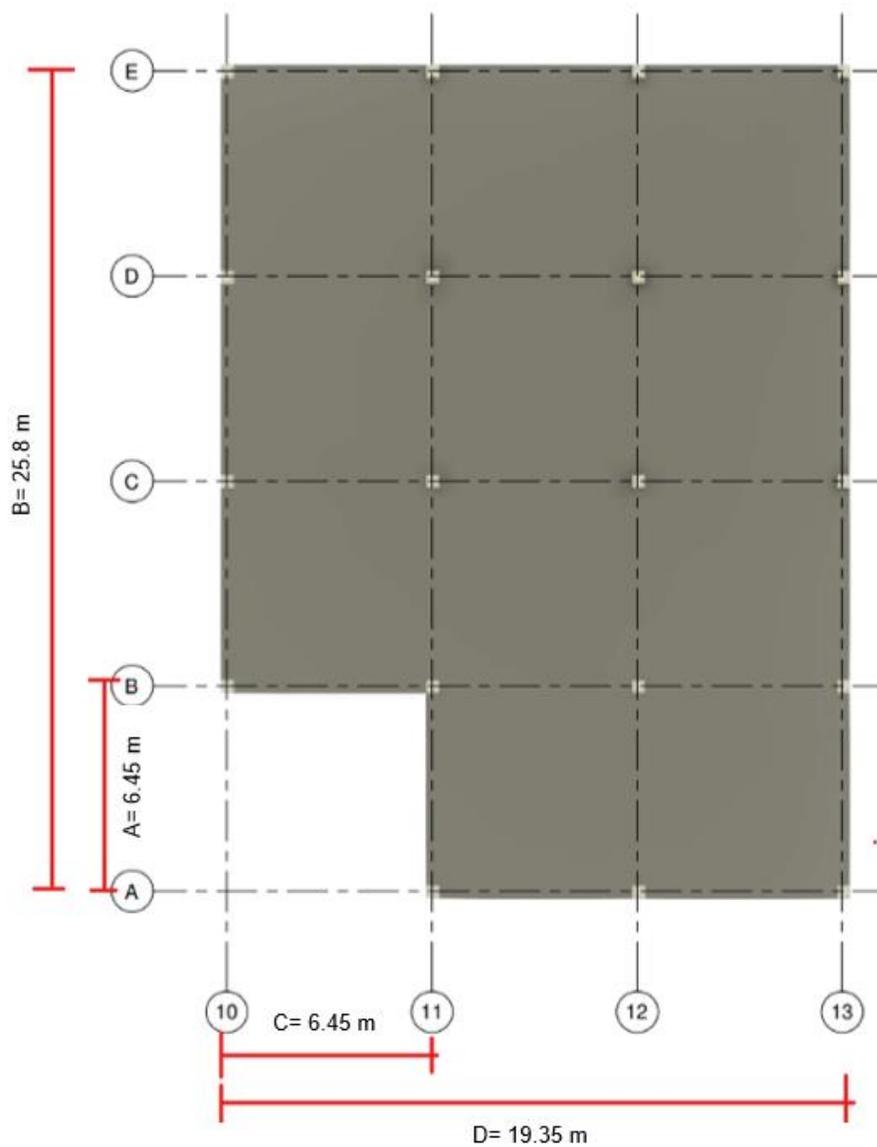
$\phi_{PA}$  Es el valor mínimo  $\phi_{Pi}$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1,2 o 3 (ver Figura 15, Cap. 2)

$\phi_{PB}$  Es el valor mínimo  $\phi_{Pi}$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4 (ver Figura 15, Cap. 2)

La estructura de los bloques G y H están destinadas para aulas de computación y laboratorios de biotecnología presentan el caso tipo 2 de irregularidad en planta como esta descritos en la Figura 15 del Cap. 2, es por tal motivo que tanto  $\phi_{PA}$  como  $\phi_{PB}$  toman el valor de 0,9, entonces:

**Figura 39**

*Dimensiones entre porticos de los bloques G y H UFA-ESPE*



$$A > 0,15B \text{ y } C > 0,15D$$

$$6,45 > 0,15(25,8) \text{ y } 6,45 > 0,15(19,35)$$

$$6,45 > 3,87 \text{ y } 6,45 > 2,9025$$

Cumple con la condición Tipo 2, que corresponde a los retrocesos excesivos en las esquinas.

$$\phi_P = 0,9 \times 1$$

$$\phi_P = 0,9$$

$$\phi_E = \phi_{EA} \times \phi_{EB} \quad (22)$$

Donde:

$\phi_E$  Coeficiente de regularidad en elevación

$\phi_{EA}$  Es el valor mínimo  $\phi_{Pi}$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1 (ver Figura 16, Cap. 2)

$\phi_{EB}$  Es el valor mínimo  $\phi_{Pi}$  de cada piso  $i$  de la estructura en el caso de irregularidades tipo 2 y/o 3 (ver Figura 16, Cap. 2)

Las estructuras de los Bloques G y H destinadas para aulas de computación y laboratorios de biotecnología no contemplan ninguno de los casos de irregularidad en elevación descritos en la Figura 16, Cap. 2. Es por tal motivo que tanto  $\phi_{PA}$  como  $\phi_{PB}$  toman el valor de 1, entonces:

$$\phi_E = 1 \times 1$$

$$\phi_E = 1$$

- Espectro de respuesta elástico de aceleraciones ( $S_a$ )

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones, es expresado de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, que está determinado en la norma (NEC-15, 2015) (ver Figura 10, Cap. 2).

El espectro de respuesta de aceleraciones presenta los siguientes factores geográficos:

- El factor de zonas sísmicas  $Z$
  - Tipo de suelo del sitio donde está la estructura
  - Los valores a considerar de los coeficientes de amplificación del suelo  $f_d$ ,  $f_s$ , que están en función del tipo de suelo de la zona sísmica.
- Zonificación sísmica y factor de zona  $z$

Para los edificios de uso normal, se utiliza el valor  $Z$ , este valor representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y este se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad. El sitio donde está construida la estructura determina una de las seis zonas sísmicas del Ecuador y cada zona contiene un factor diferente  $Z$  (ver Figura 1, Cap. 2).

La mayoría del territorio ecuatoriano se encuentra en amenaza sísmica alta, con ciertas excepciones. Como es en el nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia. Mientras que en la región del litoral presenta una amenaza sísmica muy alta (ver Figura 11, Cap. 2). El valor  $Z$  para las estructuras de este proyecto corresponde a la zona sísmica V adoptando un valor de 0.40 estas se encuentran en el Valle de los Chillos Sangolquí teniendo una caracterización de peligro sísmico ALTO. (Ver figura 40)

#### Figura 40

##### *Poblaciones ecuatorianas y valor de $Z$*

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	$Z$
SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	PICHINCHA	0.40
NANEGALITO	NANEGALITO	QUITO	PICHINCHA	0.40
AYORA	CAYAMBE	CAYAMBE	PICHINCHA	0.40
SANGOLQUI	SANGOLQUI	RUMIÑAHUI	PICHINCHA	0.40
PUERTO QUITO	PUERTO QUITO	PUERTO QUITO	PICHINCHA	0.40

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

De acuerdo a la (NEC-15, 2015), los coeficientes de amplificación son:

- Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio. (Ver Figura 41)

- Fd: Factor de desplazamiento para diseño en roca.

Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio. (Ver Figura 42)

- Fs: Comportamiento no lineal de los suelos.

Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos. (Ver Figura 43)

### Figura 41

*Tipos de suelo y factores de sitio Fa.*

Zona sísmica y factor Z						
Fa	I	II	III	IV	V	VI
Tipo de perfil del subsuelo	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección					

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

## Figura 42

*Tipos de suelo y factores de sitio Fd*

Zona sísmica y factor Z						
Fd	I	II	III	IV	V	VI
Tipo de perfil del subsuelo	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0,5
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

## Figura 43

*Tipos de suelo y factores de sitio Fs.*

Zona sísmica y factor Z						
Fs	I	II	III	IV	V	VI
Tipo de perfil del subsuelo	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥0,5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

El valor de  $\eta$  será de 2,48 y representa la razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T=0.1$  s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado en las provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

El periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño, se calculan con las siguientes ecuaciones. (23 y 24)

$$T_o = 0,1 f_s \frac{f_d}{f_a} \quad (23)$$

$$T_o = 0,1 * (1,28) \frac{1,19}{1,2}$$

$$T_o = 0,1269 \text{ segundos}$$

$$T_c = 0,55 f_s \frac{f_d}{f_a} \quad (24)$$

$$T_c = 0,55 * (1,28) \frac{1,19}{1,2}$$

$$T_c = 0,6981 \text{ segundos}$$

Para el periodo de vibración de las estructuras analizadas se calcula de acuerdo a la NEC-SE-DS, mediante la ecuación (25)

$$T = C_t * h_n^\alpha \quad (25)$$

Donde:

$C_t$  y  $\alpha$  Son coeficientes que dependen del tipo de la estructura. (Ver Tabla 25)

$h_n$  Altura máxima de la edificación de acuerdo a los n pisos, que es medida desde la base de la estructura, medida en metros.

#### Figura 44

*Coefficientes  $C_t$  y  $\alpha$  según el tipo de estructura*

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.047	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.049	0.75

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

$$T = C_t * h_n^{\alpha}$$

$$T = 0,073 * 13,60^{0,75}$$

$$T = 0,5169 \text{ segundos}$$

Por último, parámetro el espectro de respuesta elástica de aceleraciones en  $T=0$  y  $T=T_0$  se calcula con las ecuaciones (26) y (27).

$$S_a = \eta * z * f_a; \text{ para } 0 \leq T \leq T_c \quad (26)$$

$$S_a = 2,48 * 0,40 * 1,2$$

$$S_a = 1,19 \text{ g}$$

$$S_a = \eta * z * f_a * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r; \text{ para } T > T_c; r = 1,5 \text{ para tipo de suelos D o E.} \quad (27)$$

$$S_a = 2,48 * 0,40 * 1,2 * \left(\frac{0,698}{0,5169}\right)^{1,5}$$

$$S_a = 1,8680 \text{ g}$$

En la siguiente tabla se resume todos los parámetros que se obtuvieron para el cálculo del espectro elástico en aceleraciones para ambas edificaciones Bloque G y H.

**Tabla 15**

*Parámetros para el cálculo del espectro de diseño de aceleraciones.*

Parámetro	Variable	Valor	Unidades	Referencia: NEC – SE -DS
Factor de importancia	I	1.00	s. u	Tabla 6, Sec.4.1
Factor de reducción de respuesta	R	8.00	s. u	Tabla 15, Sec.6.3.4

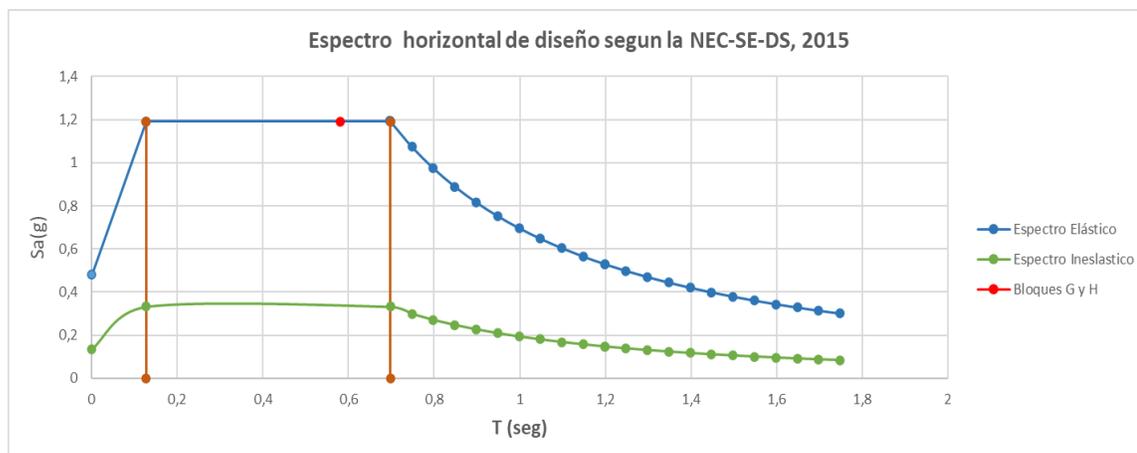
<b>Parámetro</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Referencia: NEC – SE -DS</b>
Zonificación		V		Tabla 1, Sec.3.1.1
Sísmica				
Región del Ecuador	Sierra, Esmeraldas, Galápagos			Sec.3.3.1
Factor de				
aceleración de la	<b>Z</b>	0,40	s. u	Tabla 1, Sec.3.1.1
zona sísmica				
Relación de				
amplificación	<b>n</b>	2,48	s. u	Sec.3.3.1
espectral				
Coefficiente Cta.	<b>Cta.</b>	0,073	s. u	Sec.6.3.3
Altura total del				
elemento	<b>hn</b>	13,60	m	Planos
Coefficiente para				
Calculo de Periodo	<b><math>\alpha</math></b>	0,75	s. u	Sec.6.3.3
Tipo de Suelo	-	D	-	Tabla 2, Sec.3.2.1
Factor de sitio Fa	<b>Fa</b>	1,20	s. u	Tabla 3, Sec.3.2.2
Factor de sitio Fd	<b>Fd</b>	1,19	s. u	Tabla 4, Sec.3.2.2
Factor de				
comportamiento	<b>Fs</b>	1,28	s. u	Tabla 5, Sec.3.2.2
inelástico suelo				
Factor asociado al				
periodo de retorno	<b>r</b>	1,5	s. u	Sec 3.3.1

Parámetro	Variable	Valor	Unidades	Referencia: NEC – SE -DS
Factor de irregularidad en planta	$\emptyset_p$	0,9	s. u	Tabla 13, Sec.5.2.3
Factor de irregularidad en elevación	$\emptyset_e$	1,00	s. u	Tabla 14, Sec.5.2.3
Aceleración de la gravedad	<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>	-
Período de la estructura	<b>T<sub>a</sub></b>	0,517	seg.	Sec.6.3.3
Periodo Límite en T=T <sub>o</sub>	<b>T<sub>o</sub></b>	0,127	seg.	Sec.3.3.1
Periodo Límite en T=T <sub>c</sub>	<b>T<sub>c</sub></b>	0,698	seg.	Sec.3.3.1
Aceleración en T=0	<b>S<sub>a<sub>o</sub></sub></b>	0,48	g	Sec.3.3.1
Aceleración en T=T <sub>o</sub>	<b>S<sub>a</sub></b>	1,1904	g	Sec.3.3.1
Aceleración en T=T <sub>a</sub>	<b>S<sub>a</sub> (T<sub>a</sub>)</b>	1,1904	g	-

En la siguiente figura se muestran los espectros horizontales elásticos e inelásticos del diseño correspondiente los bloque G y H. (Ver figura 45)

**Figura 45**

*Espectro elástico e inelástico horizontal de diseño de los bloques G y H.*



### **Carga sísmica reactiva ( $W$ )**

De acuerdo con la NEC-SE-DS 2015, la carga sísmica reactiva es igual a la carga muerta de la estructura, entonces la carga muerta es la sumatoria de las cargas muertas de entrepiso más la carga muerta de la cubierta (ver Tabla 16)

**Tabla 16**

Calculo de la carga sísmica reactiva según la NEC-SE-DS 2015.

<b>Distribución de carga en planta</b>				
<b>Piso</b>	<b>Carga Muerta</b>	<b>Área de piso</b>	<b>Peso muerto</b>	<b>peso muerto</b>
	<b>(kgf/m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>(kgf)</b>	<b>(Tonf)</b>
Cubierta	540,67	471,38	254861,02	254,861
3	967,42	471,38	456022,44	456,022
2	967,42	471,38	456022,44	456,022
1	967,42	471,38	456022,44	456,022
	<b>Carga sísmica reactiva, <math>W</math></b>			<b>1622,933</b>

Una vez obtenidos todos los parámetros requeridos en la ecuación (20), calculamos el cortante basal.

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p * \phi_E} x W$$

$$V = \frac{1,3 * 1,19}{8 * 0,9 * 1} x W$$

$$V = 0,2149 x W$$

$$V = 0,2149 x (1622,933)$$

$$V = 348,821 \text{ Tn}$$

Para finalizar el cálculo de cargas sísmicas y cortante basal, realizamos la distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales, para este cálculo la (NEC-15, 2015), establece la siguiente ecuación.

$$F_x = \frac{W_x * (h_x)^k}{\sum_{i=1}^n W_i * (h_i)^k} \times V \quad (28)$$

Donde:

$F_x$  Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

$F_i$  Fuerza lateral aplicada en el piso i de la estructura

$V$  Cortante total en la base de la estructura

$n$  Numero de pisos de la estructura

$W_i$  Peso designado al piso de la estructura, siendo la fracción de la carga W.

$h_x$  Altura de piso x de la estructura

$h_i$  Altura de piso i de la estructura

$k$  Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T.

El periodo T de la estructura es 0,5169s, para calcular el coeficiente k se calcula mediante la siguiente ecuación, propuesta por la (NEC-15, 2015).

$$k = 0,75 + 0,50T \quad (29)$$

$$k = 0,75 + 0,50(0,5169)$$

$$k = 1,008 \cong 1$$

A continuación, se muestra una tabla que contiene el resumen de los parámetros calculados de las cargas sísmicas laterales.

**Tabla 17**

*Parámetros calculados para las cargas sísmicas laterales para ambas edificaciones.*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad	Observación
Porcentaje de Cortante Basal	%V	21,49%	%	-
Carga Sísmica Reactiva	W	1622,933	Tonf	-
Cortante Basal	V	348,821	Tonf	%V × W
Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T(Coeficiente)	k	1,008	-	NEC – SE – DS, 2014. Sección 6.3.5.

En la siguiente tabla obtenemos los resultados de la distribución de córtate basal por piso que corresponde a las fuerzas sísmicas laterales de las estructuras.

**Tabla 18**

*Calculo de la carga sísmica reactiva según la NEC- 2015, de ambas edificaciones.*

<b>Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales</b>				
<b>Piso</b>	<b>Wi</b>	<b>Hi</b>	<b>Wi * (Hi<sup>k</sup>)</b>	<b>Fi</b>
<b>#</b>	<b>(tn)</b>	<b>(m)</b>	<b>(Tn m)</b>	<b>(Tn)</b>
Cubierta	254,861	13,6	3466,110	148,94
3	456,022	10,2	4651,429	199,88
2	456,022	6,8	3100,953	133,25
1	456,022	3,4	1550,476	66,63
		<b>Σ</b>	8117,539	348,82

## **Geotecnia - Ensayos de suelos**

### ***Sísmica de refracción***

Con el fin de evaluar las condiciones del suelo en el área de estudio donde se reemplaza la estructura se emplea el ensayo de sísmica de refracción que permite obtener la profundidad, el espesor y la velocidad de onda de corte del suelo (Vs30). Este ensayo se lo lleva a cabo de acuerdo con la norma (ASTM D5777, 2010) (Guía estándar para el uso del método de refracción sísmica para la investigación del subsuelo).

Se ha realizado el respectivo ensayo de sísmica de refracción en la cercanía de los bloques con el objetivo de corroborar los resultados consiguiendo valores semejantes, en este apartado se detallan los resultados del ensayo.

## Equipos

- Sismógrafo (Figura 46)
- Fuente de energía: martillo (Figura 47)
- Cable de geófono (Figura 48)
- Geófonos (Figura 49)
- Cable de extensión para el martillo (Figura 50)
- Placa metálica (Figura 51)
- Cinta métrica (Figura 52)
- Fuente de energía: Sismógrafo (Figura 53)

**Figura 46**

*Sismógrafo*



**Figura 47**

*Cable de los geófonos*



**Figura 48**

*Martillo y cable de extensión*

**Figura 49**

*Geófonos*

**Figura 50**

*Cable de extensión para el martillo*

**Figura 51**

*Placa de metal*



**Figura 52***Cinta métrica***Figura 53***Fuente de energía: Sismógrafo***Procedimiento**

Como primer punto se debe definir el método de interpretación a emplear ya sea en superficies planas el cual utiliza cada extremo de la línea de refracción a lo largo de un plano horizontal, o superficies no planas utilizando cada ubicación de los geófonos cuando el terreno presenta irregularidad vertical siendo necesario realizar una corrección en cada punto a lo largo de la línea de refracción (ASTM D5777, 2010). Para este estudio se ha considerado el primer método ya que la zona de estudio no presentaba mayores irregularidades a lo largo del trazado de la línea.

Los geófonos se ubican a lo largo de una línea recta introduciéndolos al terreno, la cantidad y la distancia de separación entre geófonos dependerá de la profundidad y nivel de definición deseado de los estratos del subsuelo. La separación entre geófonos deberá ser mayor para obtener refractores más profundos; y una separación menor para refractores menos profundos (ASTM D5777, 2010). Para este proyecto se ha definido la utilización de 12 geófonos con una separación de 3 m dando una línea de refracción de 33 m tanto para el bloque G como para el bloque H. Cabe recalcar que, los geófonos deben estar correctamente alineados, además deben estar apuntando hacia una misma dirección y conectados al cable de geófonos (ver Figura 54).

**Figura 54**

*Geofonos conectados y alienados para realizar el ensayo*



El sismógrafo está ubicado en el medio de la línea de refracción, y tanto el cable del geófono como la fuente de energía sísmica (martillo) están conectados, como se muestra en la Figura 54. La placa de metal se encuentra en medio de la separación del geófono, que luego se golpea con un martillo, creando una onda que transmite la señal, que se registra en la unidad de adquisición de datos del sismógrafo, un proceso que llamamos el método activo. Una vez hechas las lecturas de todos los golpes con el martillo, se toman medidas pasivas con el mismo equipo, luego se combinan las dos medidas y se obtiene el Vs30.

**Figura 55**

*Equipo conectado correctamente de refraccion sisimica*

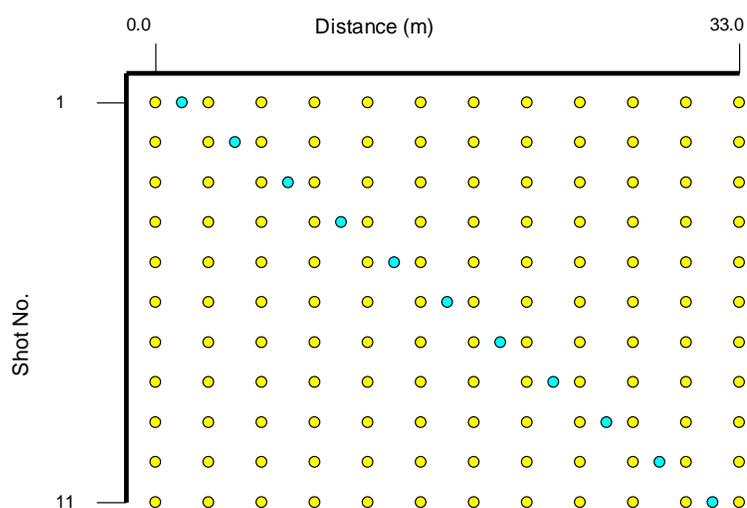


El procesamiento de datos se realiza mediante el programa "Seislmager", comenzando con un método activo, luego un método pasivo y finalmente una combinación de ambos métodos. Utilizando el método activo se puede obtener la geometría de las líneas de refracción presentada en la Figura 56, donde el punto celeste representa la ubicación del golpe con el martillo.

### Método activo

**Figura 56**

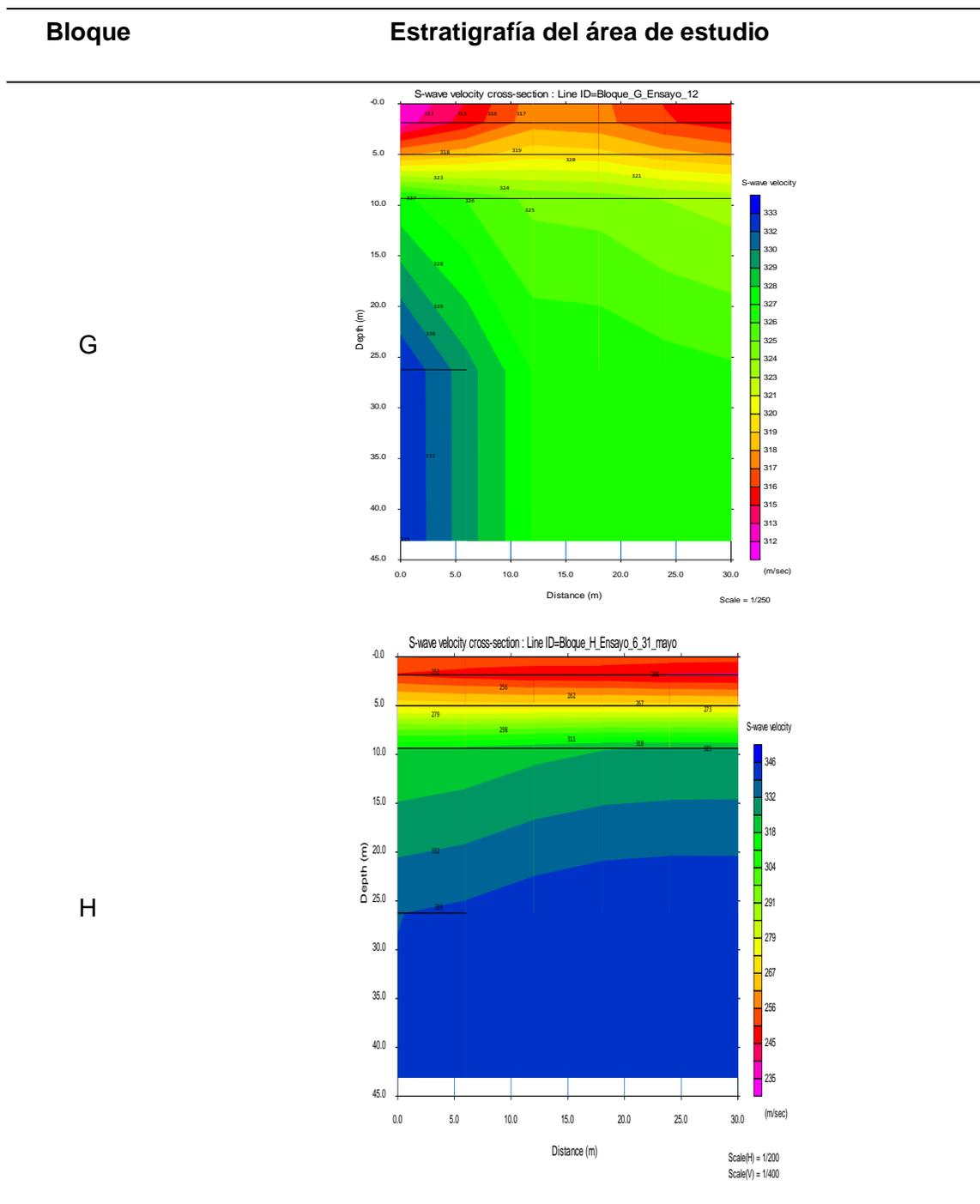
*Geometría de la línea de refracción*



A continuación, en la Tabla 19, se muestran las estratigrafías que corresponden al área de estudio de acuerdo a la profundidad.

**Tabla 19**

*Estratigrafía del área de estudio de las dos estructura.*

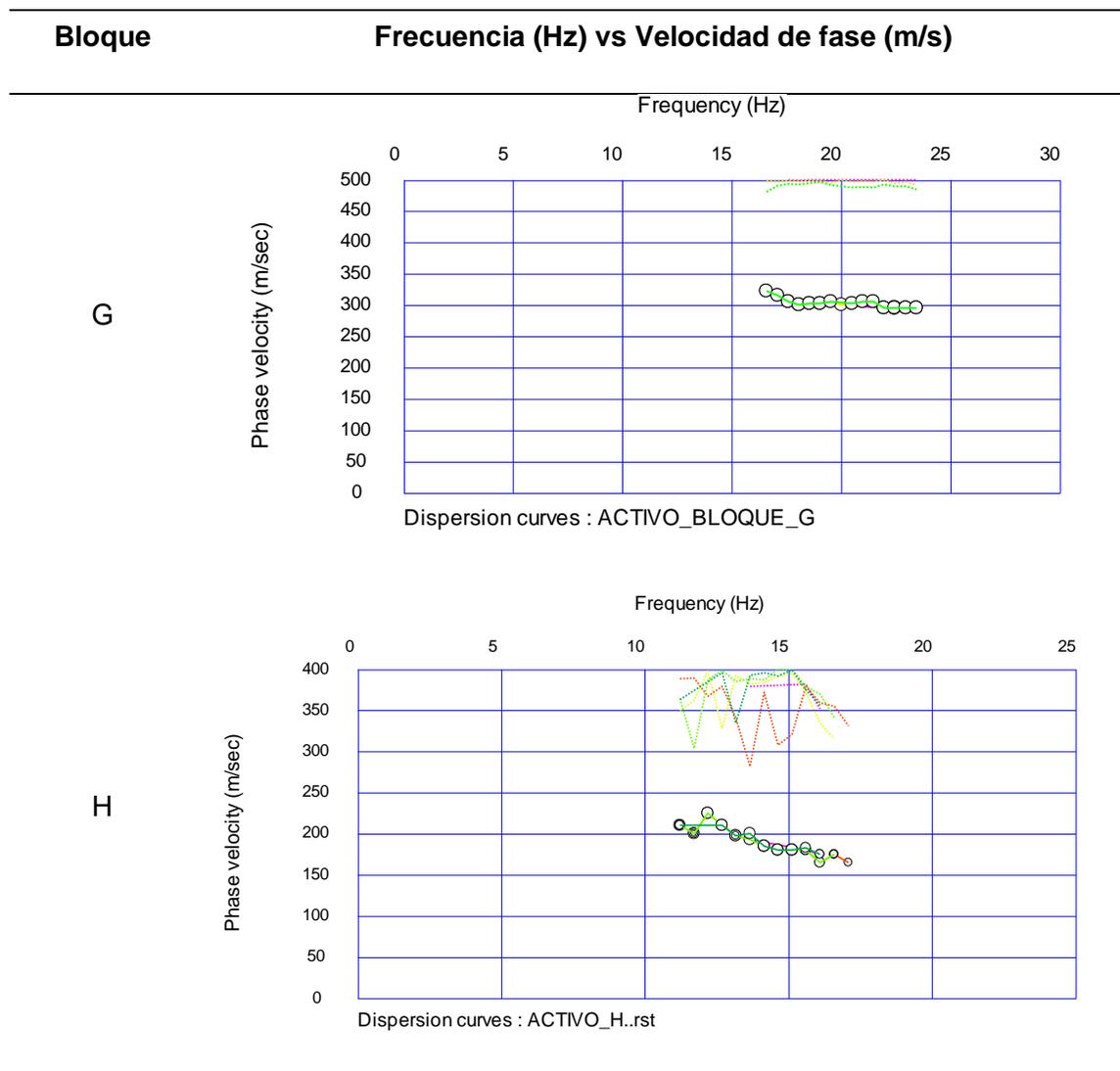


En la siguiente tabla (ver Tabla 20), se muestra la Frecuencia vs la Velocidad de fase delimitadas por la frecuencia de los geófonos teniendo un valor de 4,5 Hz dicha

frecuencia es utilizada para ambos bloques. Y mediante transformadas de Fourier convierte a Velocidades de onda de corte.

**Tabla 20**

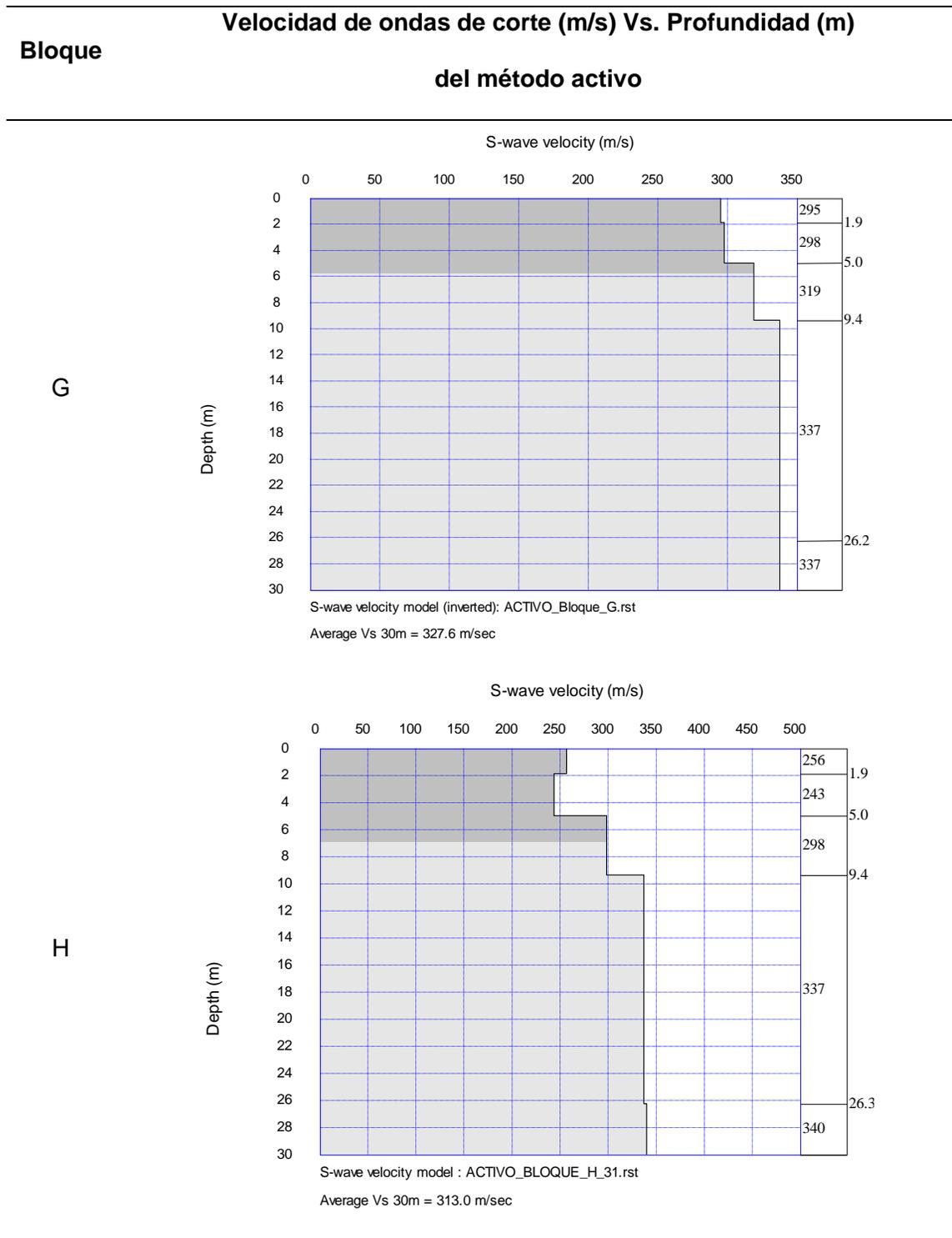
*Grafica Frecuencia (Hz) vs. Velocidad de fase (m/s) del método activo.*



Se obtiene la Velocidad de onda de corte en función de la Profundidad, y de esta forma a partir del método activo se obtiene un valor de  $V_{s30}=327,6$  m/s para el bloque G y  $V_{s30}=313,0$  m/s para el bloque H. (ver Tabla 21).

**Tabla 21**

*Graficas de velocidad de ondas de corte (m/s) Vs. Profundidad (m) para el método activo.*



### Método pasivo

el método pasivo se representa la frecuencia vs velocidad de fase (ver Tabla 22). Los puntos rojos que se encuentran en la curva de dispersión representan la mayor concentración de energía que se debe utilizar en este análisis, la misma información se presenta de igual manera en la Tabla 24 con 4,5 Hz como se utilizó en el método activo para delimitar la frecuencia.

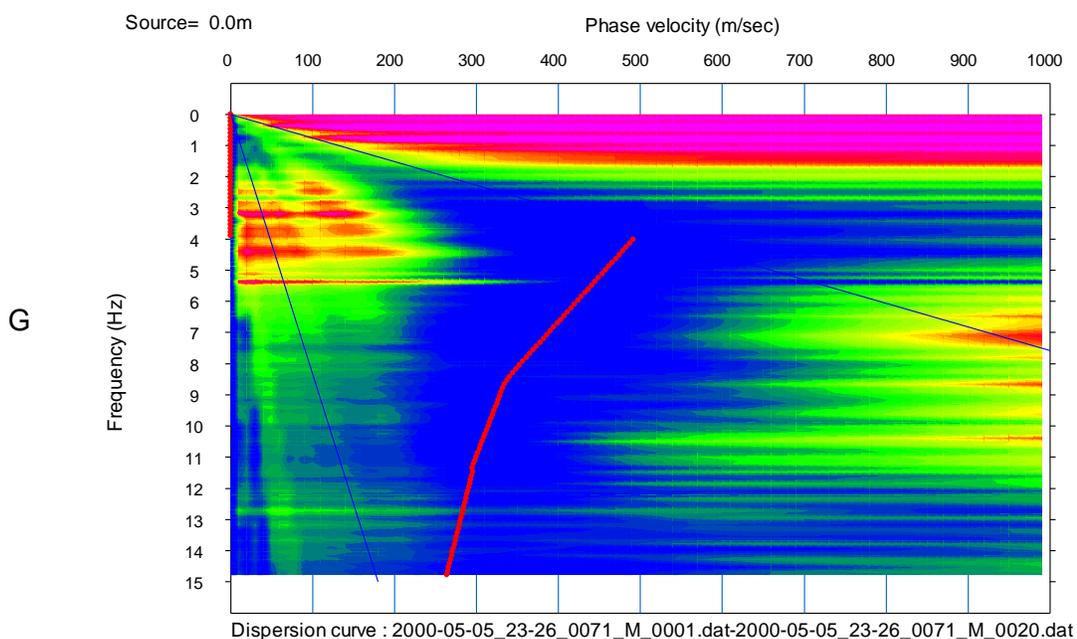
### Tabla 22

*Gráfica de la curva de dispersión del método pasivo para ambos bloques.*

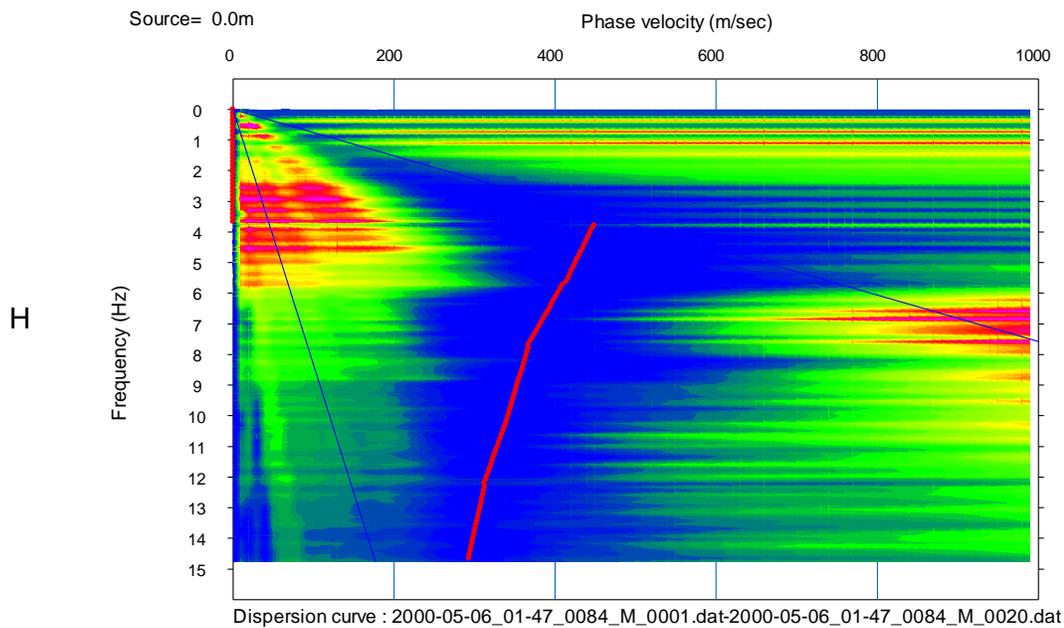
---

Bloque	Curva de dispersión, método pasivo
--------	------------------------------------

---



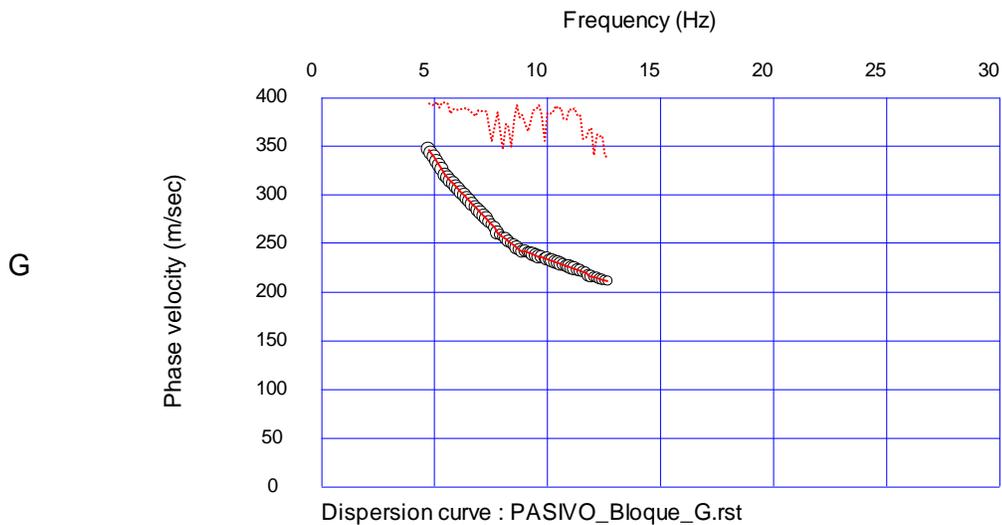
**Bloque Curva de dispersión, método pasivo**



**Tabla 23**

*Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s) correspondiente al metodo pasivo*

**Bloque Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)**

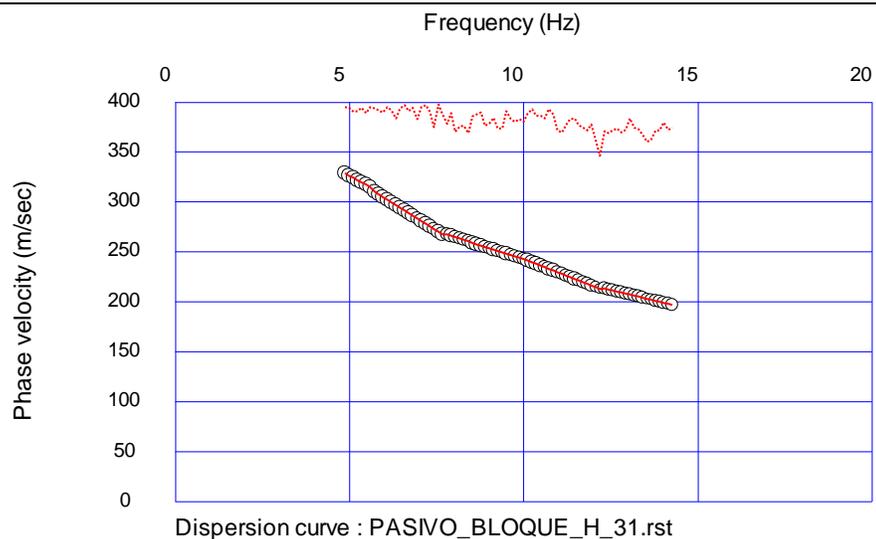


---

**Bloque****Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s)**

---

H

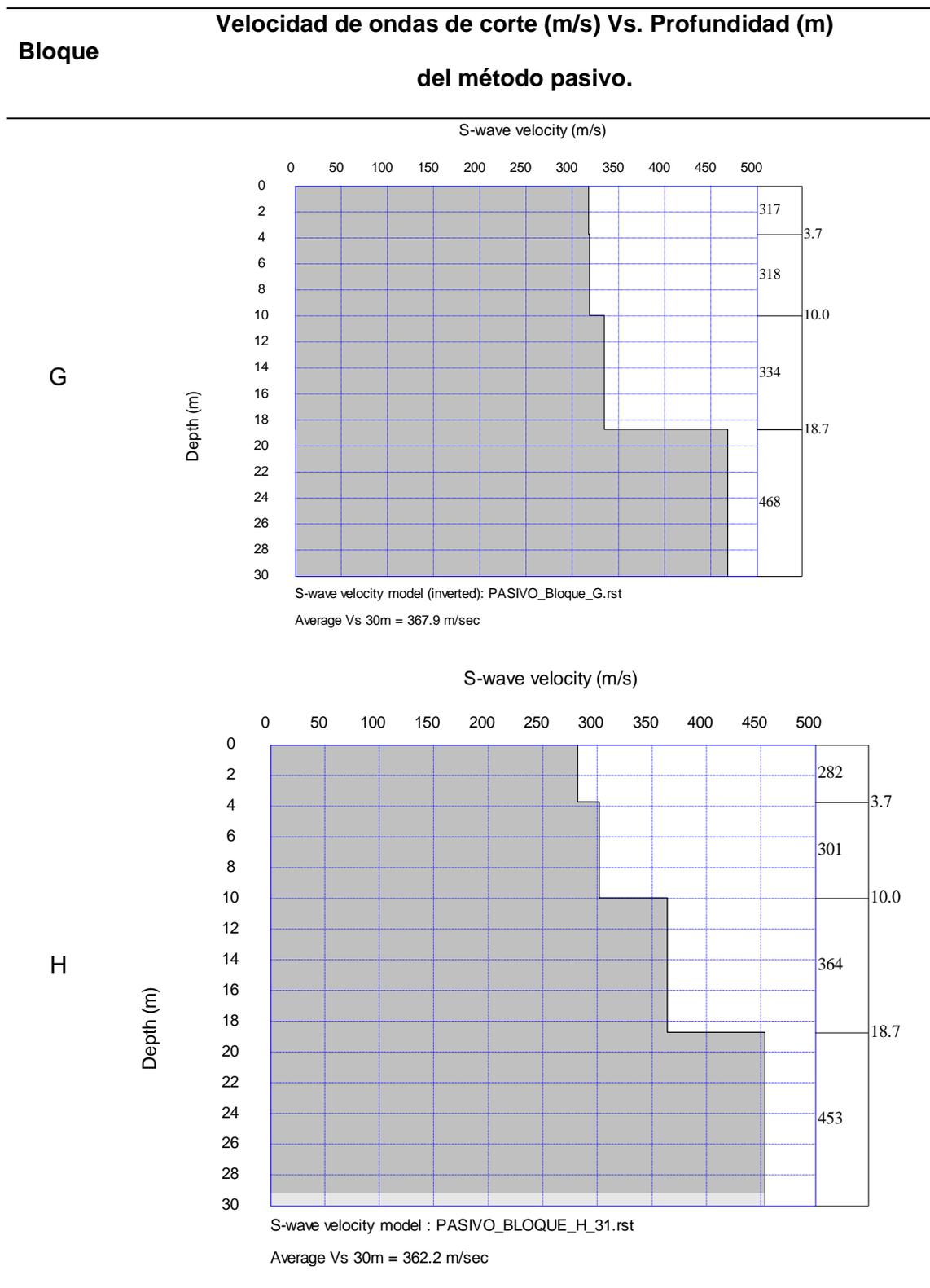


---

Para concluir el método pasivo se presenta la Velocidad de onda de corte en función de la Profundidad y se obtiene un valor de  $V_{s30}= 367,9$  m/s para el bloque G y  $V_{s30}=362.2$  m/s para el bloque H (ver Tabla 24).

**Tabla 24**

*Graficas de velocidad de ondas de corte (m/s) Vs. Profundidad (m) del método pasivo*



### Método combinado

Finalmente, en el Método Combinado se acoplan las curvas de dispersión de los dos métodos dentro del gráfico de la Frecuencia vs la Velocidad de fase (ver Tabla 25).

**Tabla 25**

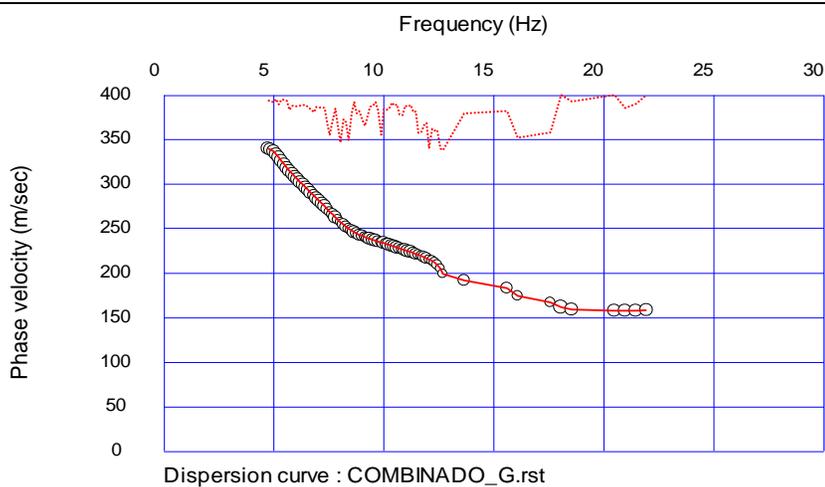
*Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s) correspondiente al metodo combinado*

---

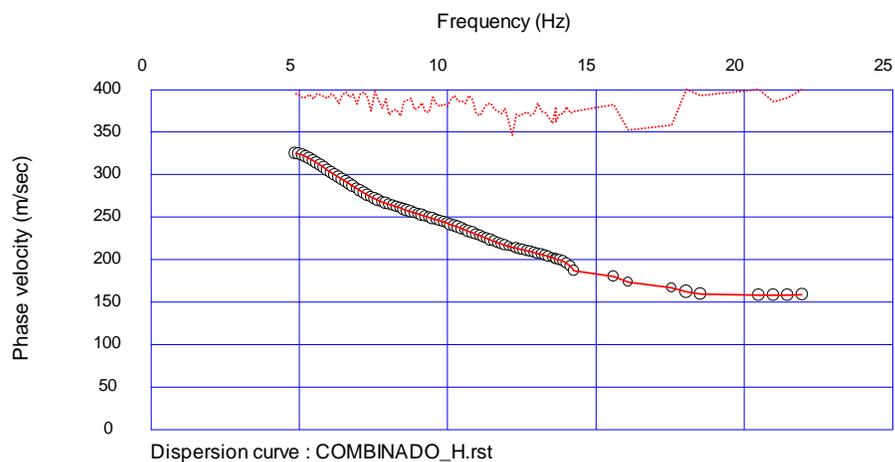
**Bloque Frecuencia (Hz) vs Velocidad de fase (m/s) del método combinado**

---

G



H



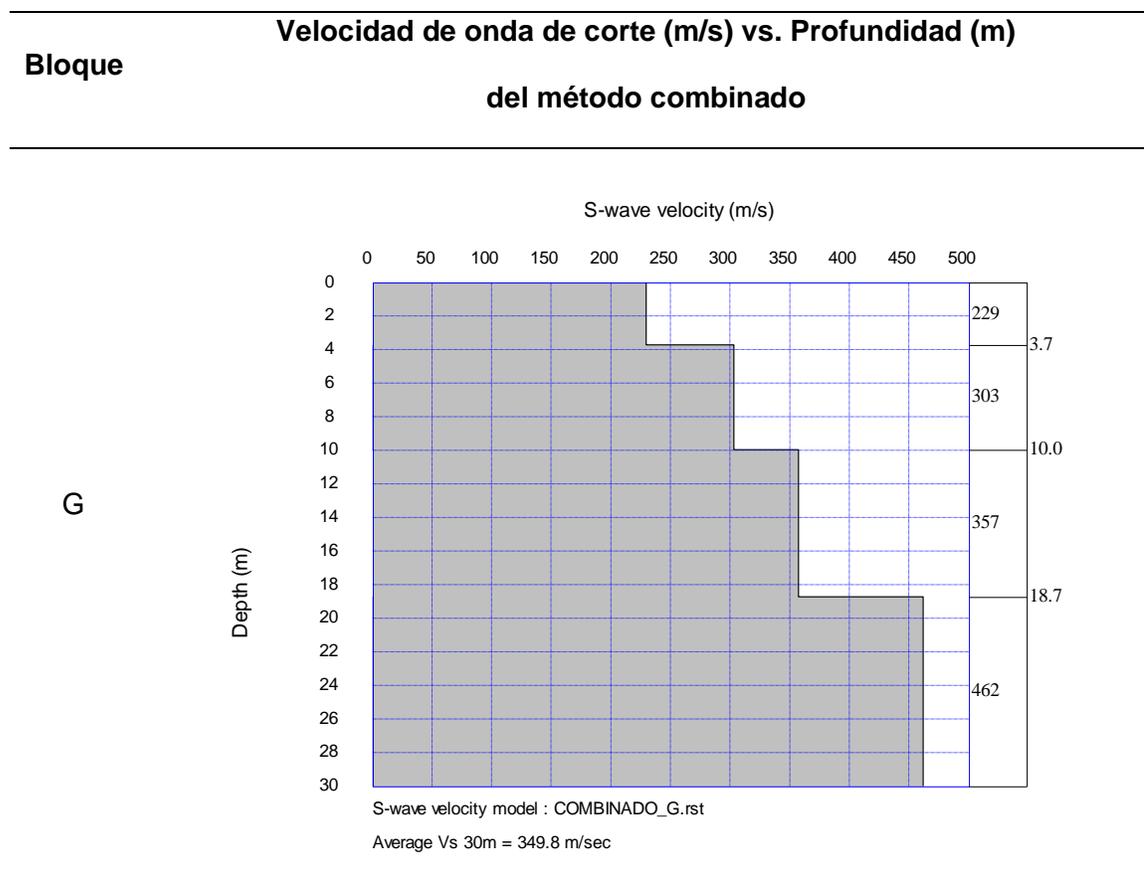

---

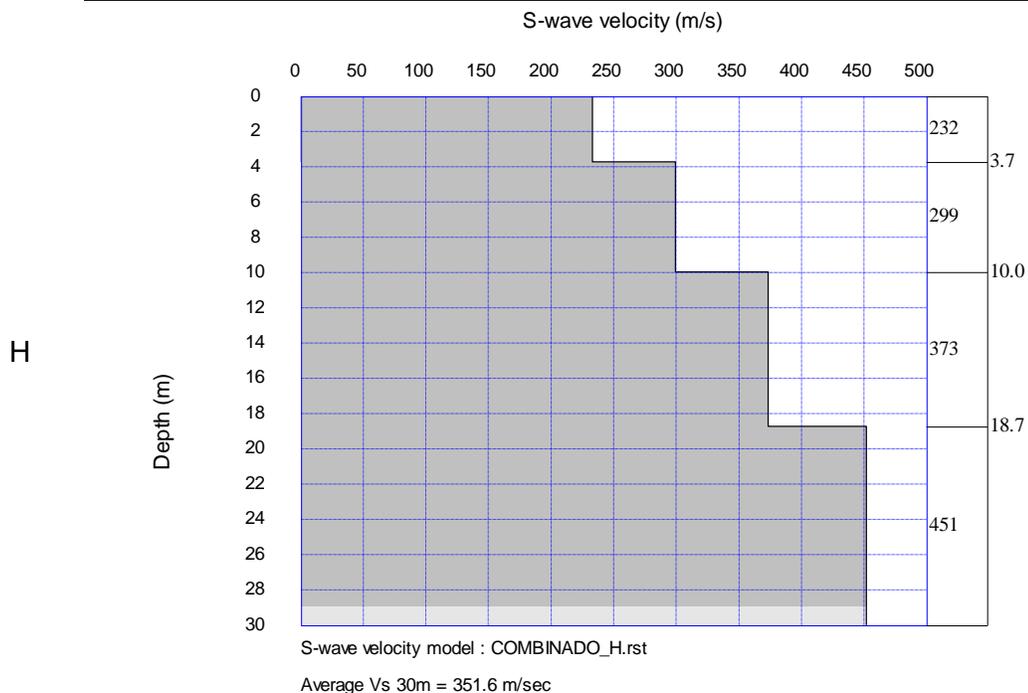
para concluir el ensayo de sismica de refracción se finaliza interpretando los datos con el método combinado se presenta la Velocidad de onda de corte en función

de la Profundidad y se obtiene un valor de  $V_{s30} = 349.8$  m/s para el bloque G y  $V_{s30} = 351.6$  m/s para el bloque H (ver Tabla 26).

### Tabla 26

Grafica correspondiente a: Velocidad de onda de corte (m/s) vs. Profundidad (m) del metodo combinado





H

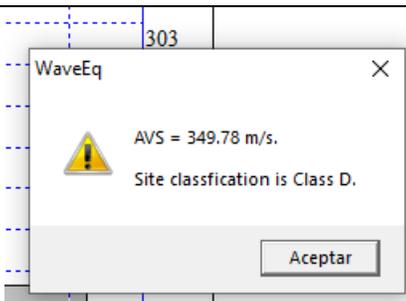
Finalmente, el software “Surface Wave Analysis” posee una función que nos permite realizar la clasificación del suelo, estos resultados se muestran a continuación. (ver tabla 27)

**Tabla 27**

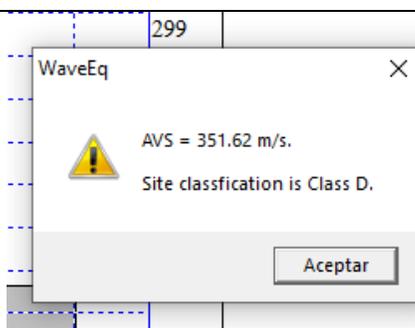
*Velocidad de ondas de corte a los 30 metros y tipo de suelo de los bloques G y H, UFA-ESPE*

**Bloque**                      **Velocidad de ondas de corte a los 30 metros y tipo de suelo de la estructura.**

G



H



La Normativa ecuatoriana de la construcción presenta para el Peligro Sísmico una clasificación de los tipos suelo que se basa en la velocidad de onda de corte a una profundidad de 30 m ( $V_{s30}$ ) representada en la Tabla 28.

**Tabla 28**

*Tipos de Perfil de Suelo según la NEC-SE-DS 2015*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$360$ m/s $> V_s \geq 180$ m/s
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$V_s < 180$ m/s

*Nota:* Recuperado de (NEC-15, 2015)

El valor de Vs30 obtenido en el presente ensayo fue la siguiente clasificación que se muestra en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Clasificación del tipo suelo de las dos edificaciones de estudio*

<b>Bloque</b>	<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>Tipo de suelo según (NEC-15)</b>
G	349,78	D
H	351,62	D

### ***Ensayo de Nakamura***

El este ensayo de suelos “Nakamura” se realiza con el objetivo de obtener el periodo de vibración del suelo empleando el software SARA, a partir del cual se adquiere el valor de la frecuencia producida por el ruido ambiental, hallando su inverso se encuentra el periodo de vibración del suelo.

El método HVSR (también conocida como H/V por «horizontal-to-vertical» o método de Nakamura) utiliza un sismómetro (velocímetro) triaxial de banda ancha para grabar el ruido sísmico ambiental. Es considerada una técnica “pasiva” porque no requiere una fuente sísmica artificial, como explosivos o golpes de martillo. La relación HVSR mide las componentes vertical y horizontal del ruido sísmico inducido por el viento, oleaje, y actividades antropogénicas (Geoseismic, 2017).

El análisis de las mediciones de este tipo permite identificar los modos de vibración del suelo además de identificar la frecuencia fundamental ( $f_0$ ) de esta vibración. Sabiendo que en general hay una relación simple entre  $f_0$ , el espesor de la parte más suave de la tierra (es decir, la porción del material que recubre la cama-rock) y la velocidad media ( $V_s$ ) de las ondas sísmicas en el subsuelo (obtenido por ejemplo a partir de los métodos de ondas superficiales), a través de las medidas HVSR se puede estimar al espesor de esta capa (Geoseismic, 2017).

### Equipos

- Velocímetro triaxial amplificado SARA. (Figura 57)
- Brújula.
- Computadora Portátil.

### Figura 57

*Velocímetro triaxial amplificado SARA*



### Procedimiento

Para llevar a cabo este tipo de ensayo se deben tomar en consideración las condiciones propicias y adversas para la realización exitosa del mismo, por ejemplo el ruido ambiental debe ser bajo, se toma en cuenta el tipo superficie, se realizará en un tiempo de mayor a 30 minutos cuando existe un ambiente ruidoso, se revisará el movimiento horizontal del registro después de empezar la lectura de datos, se nivelará correctamente el equipo, los soporte no deben elevar en exceso al equipo, no se ejecutará el ensayo en condiciones de extremo calor o en climas lluviosos, tampoco se podrá colocarlo muy cercano a altas estructuras como árboles, puentes o postes, y no modificar la superficie del suelo. Estas consideraciones las indica el programa SEISMOWIN a través de la interfaz mostrada en la Figura 58.

**Figura 58**

*Consideraciones para el uso del equipo SARA.*



*Nota:* recuperado de (Geoseismic, 2017)

El dispositivo contiene unos soportes que se adaptan al terreno según sea un terreno o una superficie más dura. Con la ayuda de una brújula, determine el norte y coloque el dispositivo de modo que la referencia que contiene el eje "y" del dispositivo apunte al sur (ver Figura 59). Una vez que el dispositivo se coloca en la orientación correcta, se ajusta el nivel circular.

**Figura 59**

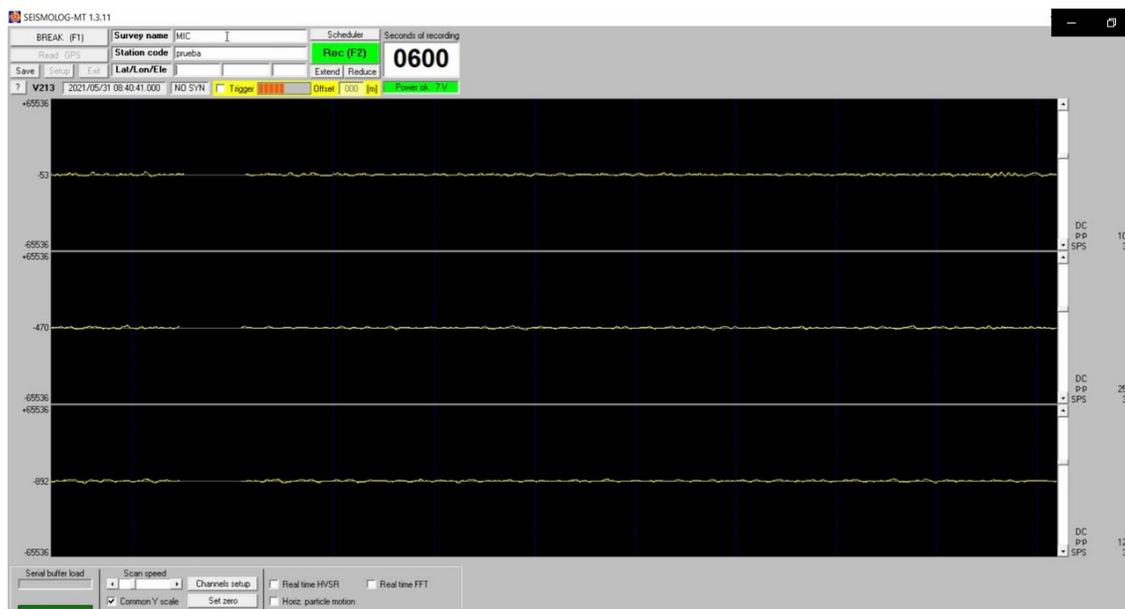
*Equipo SARA ubicado correctamente. Con el eje Y y el nivel circular*



Se conecta el cable a un computador y mediante el software SEISMOWIN se empieza a registrar las señales. Para este proyecto se tomó la lectura en un tiempo estimado de 600 segundo debido a que el ruido ambiental no era excesivo (Ver Figura 60).

### Figura 60

*Software SEISMOWIN para tomar lectura del ruido ambiental*

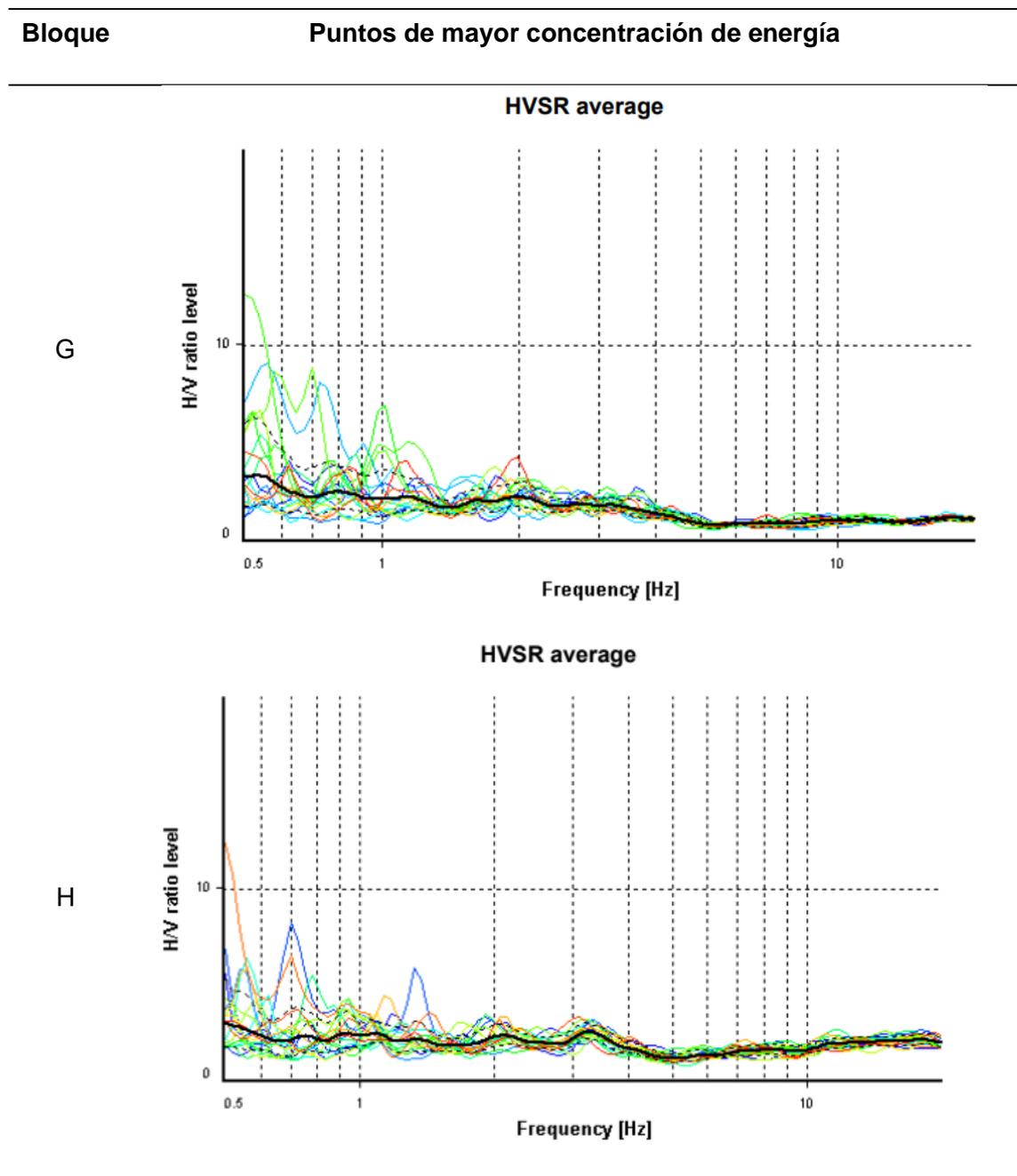


### Resultados

El tratamiento de las señales se realiza con el fin de obtener la frecuencia empleando el programa GeoExplorer HVSR, a partir del cual se obtiene el punto de mayor energía y con el mayor número de señales posibles como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30

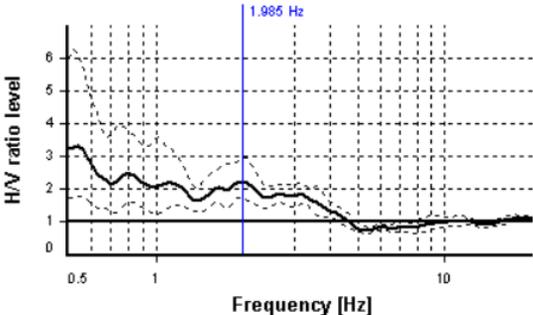
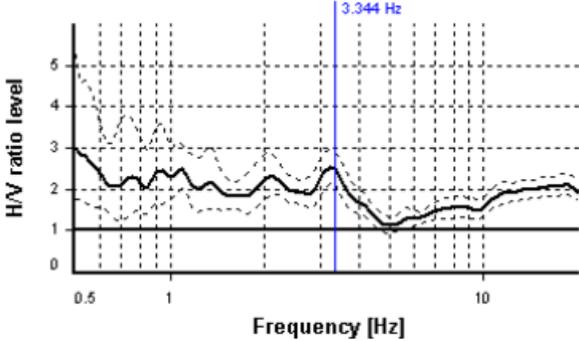
*Puntos de mayor concentración de energía*



Dentro de las zonas señaladas donde se encuentra la mayor energía como se muestran en las figuras de cada bloque en la Tabla 31 se encontrará el valor de la frecuencia del ensayo, y el periodo de vibración del suelo resulta de calcular el inverso.

Tabla 31

Frecuencias fundamentales de los suelos de las edificaciones.

Bloque	Puntos de mayor concentración de energía
<b>SESAME CRITERIA</b>	
G	<p><b>Selected <math>f_0</math> frequency</b>  <b>1.985 Hz</b></p> <p><b><math>A_0</math> amplitude = 2.245</b>  <b>Average <math>f_0 = 1.895 \pm 0.197</math></b></p>
	
H	<p><b>Selected <math>f_0</math> frequency</b>  <b>3.344 Hz</b></p> <p><b><math>A_0</math> amplitude = 2.475</b>  <b>Average <math>f_0 = 3.273 \pm 0.165</math></b></p>
	

A continuación, se muestran los valores obtenidos de frecuencia fundamental y del periodo de vibración del suelo de las dos estructuras analizadas (ver Tabla 32).

**Tabla 32**

Valores de frecuencia fundamental y del periodo de vibración del suelo de las dos estructuras.

Bloque	Frecuencia fundamental del suelo (Hz)	Periodo de vibración del suelo (s)
G	1,985	0,504
H	3,344	0,299

Una vez establecido el valor del periodo de vibración del suelo de 0,504 segundos para el bloque G y 0,299 segundos para el bloque H, y de acuerdo con la NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), se cataloga al suelo como medio (SIII) y de Clase D para el bloque G y para el bloque G un suelo tipo C, en la equivalencia establecida (ver Tabla 33). Esta clasificación permite tener un criterio inicial sobre el tipo de suelo (Schmidt, 2014).

**Tabla 33**

Correlación entre clases de suelo,  $T_0$  y rangos de velocidades  $V_{s30}$ .

Clases de suelo	Periodo natural del sitio $T_0$ (s)	Promedio de las velocidades de onda de corte (m/s)	Equivalencia con la clasificación del NEHRP
S I (roca/suelo rígido)	$T_0 < 0,2$	$V_{s30} > 600$	A + B
S II (suelo firme)	$0,2 = T_0 < 0,4$	$300 < V_{s30} = 600$	C
S III (suelo medio)	$0,4 = T_0 < 0,6$	$200 < V_{s30} = 300$	D
S IV (suelo blando)	$T_0 = 0,6$	$V_{s30} = 200$	E

Nota: Recuperado de (Zhao, y otros, 2006)

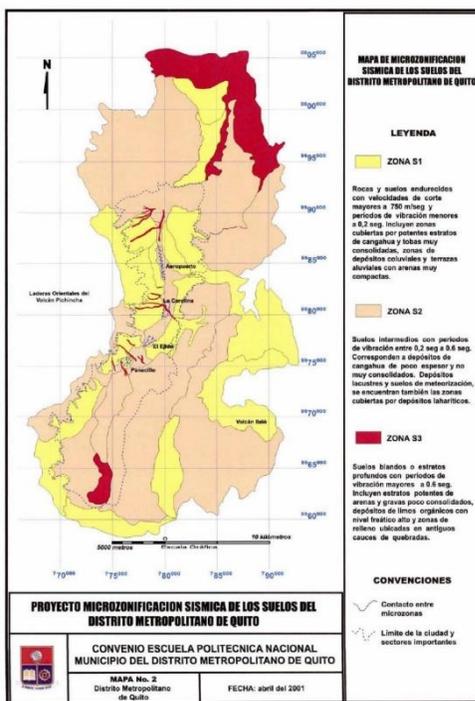
## Validación de resultados

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos mediante los ensayos de Sísmica de refracción y de Nakamura donde obtuvimos las velocidades de ondas de corte ( $V_{s30}$ ) y tomando como referencia la investigación “Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito” se presenta una distribución de tres zonas (Ver figura 47). Dentro de este estudio (Valverde, Fernández, Jiménez, Vaca, & Alarcón, 2011), mencionaron que en su investigación encontraron lo siguiente:

Hacia el sur del Volcán Illaló se observan una serie de depósitos intercalados al tope de las secuencias de cangahua y que constituye lahares originados en las erupciones del Volcán Cotopaxi. su depósito se extiende a través del Rio San Pedro hacia el norte inundando las partes centrales del Valle de 10s Chillos con espesores entre 1 a 2 metros.

**Figura 61**

*Mapa de microzonificación sísmica de los suelos del distrito.*



*Nota:* Recuperado de (Valverde, Fernández, Jiménez, Vaca, & Alarcón, 2011)

En el mapa de microzonificación sísmica de los suelos del DMQ, se muestran los suelos agrupados de acuerdo a las propiedades mecánicas del suelo además de los espesores de cada estrato, respecto a la estructura analizada se encuentra muy cercana a la zona S2 que pertenece con características intermedias entre las zonas S1 y S3, que poseen depósitos de cangahua, lacustres y laharíticos. Donde los promedios de vibración van desde los 0,2 segundos hasta los 0,6 segundos.

El presente proyecto de Vulnerabilidad estructural se trabajará con el valor obtenido mediante el ensayo sísmica de refracción, de acuerdo a la clasificación estipulada en la normativa ecuatoriana vigente NEC-15.

## **Ensayos no destructivos**

### ***Esclerómetro***

#### **Descripción**

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a compresión de los materiales con los cuales están construidos los antepechos de la estructura del Bloque G. La resistencia del hormigón es variable, y muy sensible, ante diversos factores ambientales, así como también presenta una tendencia de crecimiento en función al tiempo de fabricación que tenga. El término “recubrimiento” en el presente apartado hace referencia al enlucido más el acabado que presente el elemento a ser evaluado.

#### **Procedimiento**

El procedimiento que se detalla a continuación tiene cierto nivel de particularidad, puesto que se aprovechó el objetivo y la disponibilidad de recursos del presente trabajo para establecer la correlación de la resistencia del antepecho con, y sin, recubrimiento.

Siendo la justificación de esta decisión, el alto nivel de dificultad y el tiempo en demasía que consume la extracción del recubrimiento, y la restauración del elemento a sus condiciones iniciales. El proceso está compuesto de los siguientes pasos:

1. Calibración del martillo de rebote.
2. Escoger los elementos a ser ensayados.
3. Identificar y ubicar la superficie de prueba
4. Secar y limpiar la superficie de prueba
5. Trazar una cuadrícula tomando en cuenta que deben ser cuadrados mínimos de 2.5 cm. En los vértices de los cuadrados se darán los golpes, para no repetir el golpe en un sitio ya dado.
6. Realizar el ensayo en los elementos seleccionados con el recubrimiento.
7. Retirar el recubrimiento de los elementos.
8. Secar y limpiar la superficie de prueba
9. Realizar el ensayo en los elementos seleccionados sin el recubrimiento teniendo las consideraciones antes nombradas de la cuadrícula.

### **Figura 62**

*Mampostería de la primera planta bloque G.*



### Equipos

- Martillo tipo Schmidt (ver Figura 63)
- Flexómetro
- Lápiz de color

### Figura 63

*Martillo tipo Schmidt (Esclerometro)*



### Procesamiento de datos y resultado

En total se aplicó el ensayo para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón con el equipo esclerómetro dos (2) veces, una en elementos estructurales con recubrimiento y una en un elemento estructural sin recubrimiento. El antepecho seleccionado fue el del primer piso en la parte exterior de los bloques G y H, el criterio de selección se basó en el nivel de impacto ornamental que ocasionaría el retiro del recubrimiento, y restauración, de la superficie de ensayo. (Ver figura 64)

**Figura 64**

*Ensayo de esclerómetro en mampostería del primer piso. a) Bloque G y b) Bloque H*



(a)



(b)

### Sin recubrimiento

En la Tabla 34 y 35 se muestran los valores registrados en el antepecho sin considerar el recubrimiento para realizar el ensayo, cabe mencionar que este antepecho forma parte de la fachada posterior de la edificación, consiguiendo así reducir significativamente el impacto estético del edificio.

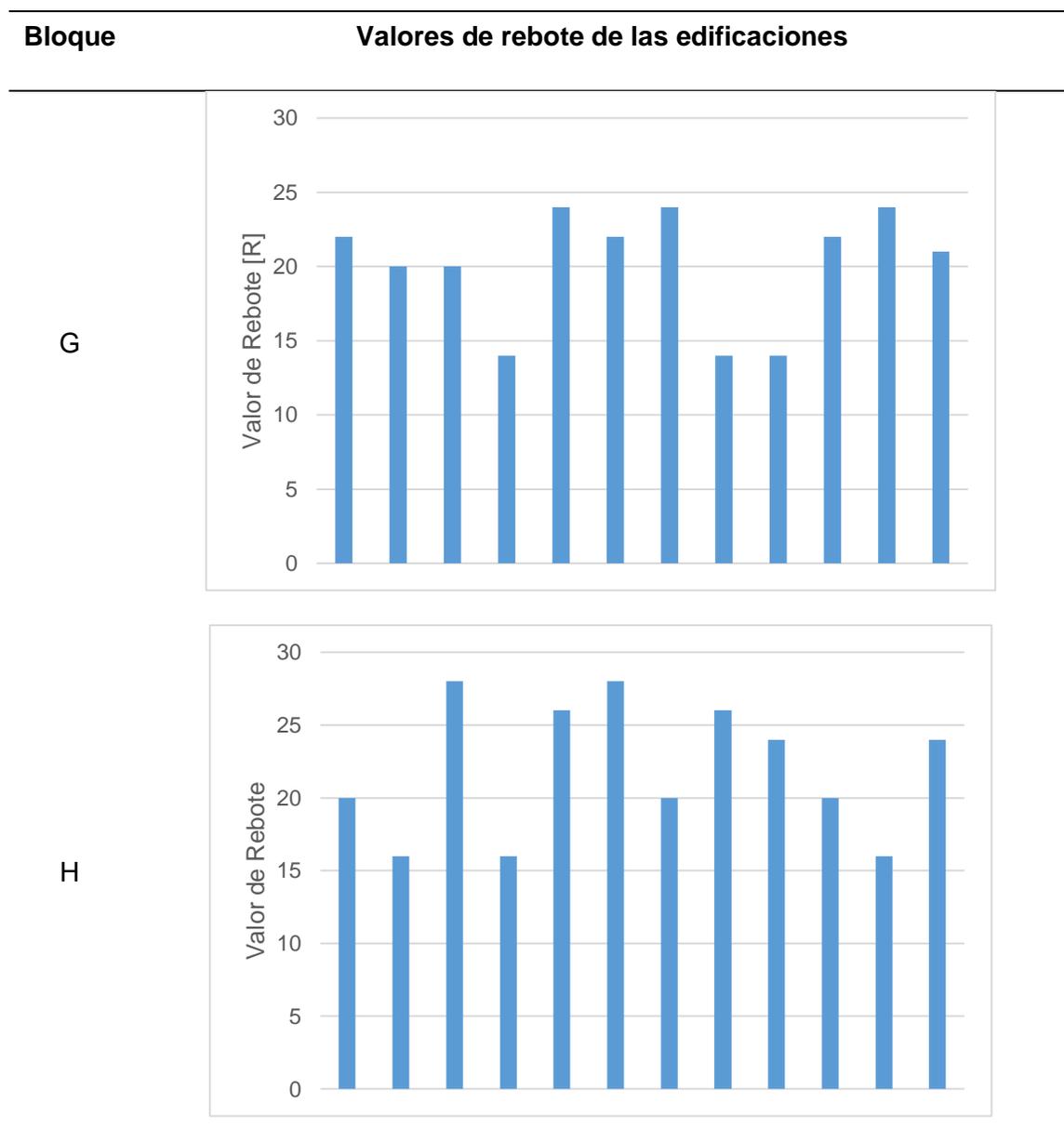
**Tabla 34**

*Registro de las lecturas del esclerómetro del antepecho sin recubrimiento*

Numero de Golpe	Valor de Rebote [R]		f'c psi		f'c kg/cm2	
	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque
	G	H	G	H	G	H
1	22	20	1600	1400	112,4912	98.4298
2	20	16	1400	-	98,4298	-
3	20	28	1400	2500	98,4298	175.7675
4	14	16	-	-	-	-
5	24	26	2000	2250	140,614	158.19075
6	22	28	1600	2500	112,4912	175.7675
7	24	20	2000	1400	140,614	98.4298
8	14	26	-	2250	-	158.19075
9	14	24	-	1900	-	133.5833
10	22	20	1600	1400	112,4912	98.4298
11	24	16	2000	-	140,614	-
12	21	24	1500	1900	105,4605	133.5833

Tabla 35

*Gráficas de los valores de rebote de cada edificación sin considerar el recubrimiento*



### Con recubrimiento

En la Tabla 36 y 37 se muestran los valores registrados en el antepecho considerando el recubrimiento para realizar el ensayo, cabe mencionar que este

antepecho forma parte de la fachada posterior de la edificación, consiguiendo así reducir significativamente el impacto estético del edificio.

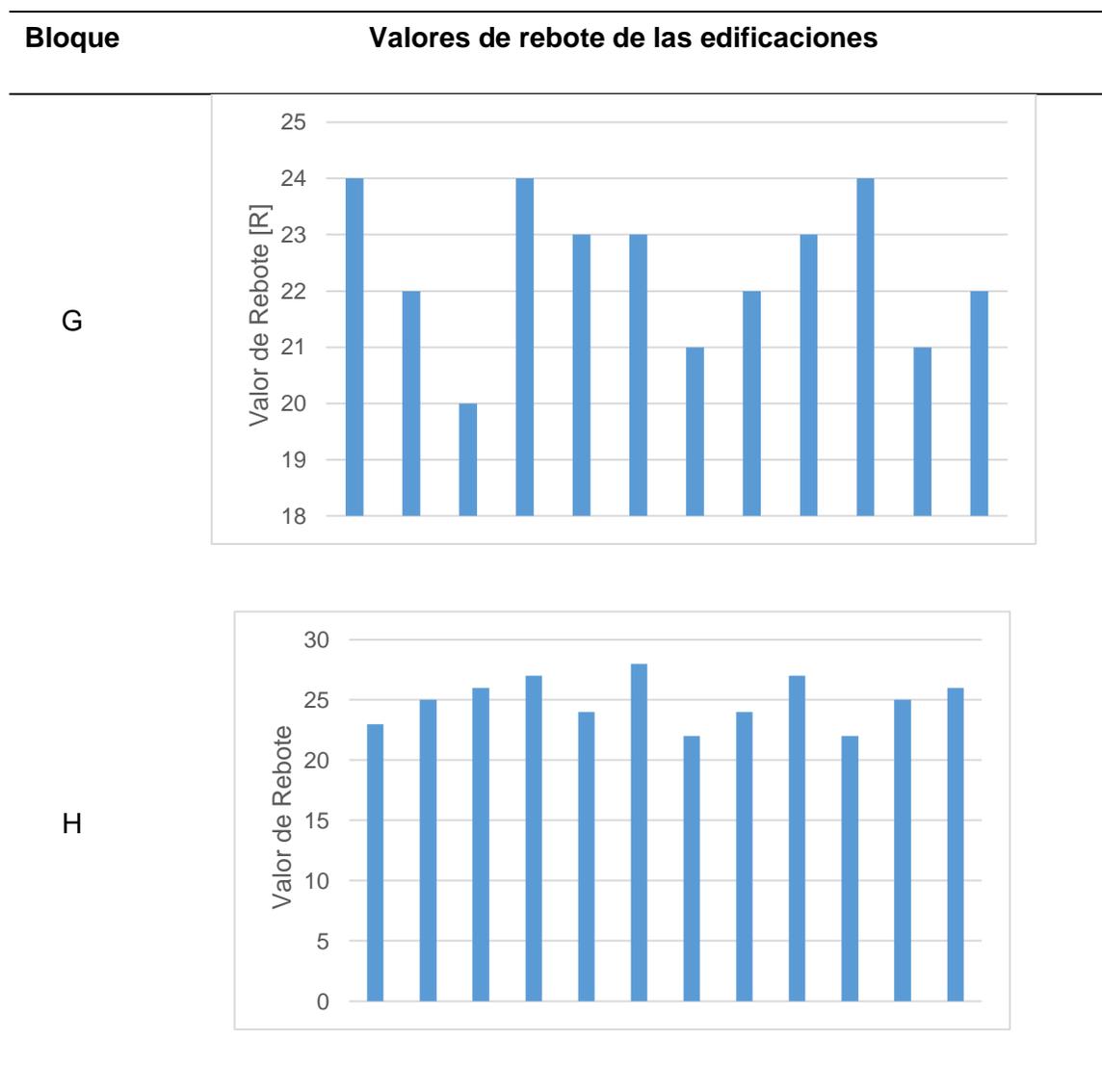
**Tabla 36**

*Registro de las lecturas del esclerómetro del antepecho con recubrimiento*

Numero de Golpe	Valor de Rebote [R]		f'c psi		f'c kg/cm2	
	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque	Bloque
	G	H	G	H	G	H
1	24	23	2000	1750	140,61	123.04
2	22	25	1600	2000	112,49	140.61
3	20	26	1400	2250	98,43	158.19
4	24	27	2000	2400	140,61	168.74
5	23	24	1800	1900	126,55	133.58
6	23	28	1800	2500	126,55	175.77
7	21	22	1500	1500	105,46	105.46
8	22	24	1600	1900	112,49	133.58
9	23	27	1800	2900	126,55	203.89
10	24	22	2000	1500	140,61	105.46
11	21	25	1500	2000	105,46	140.61
12	22	26	1600	2250	112,49	158.19

Tabla 37

*Gráficas de los valores de rebote de cada edificación considerando el recubrimiento*



La siguiente tabla muestra los valores obtenidos como resultados para la resistencia a la compresión  $f'_c$  mediante el ensayo con el esclerómetro en las dos edificaciones en estudio que se aplicó con recubrimiento y sin recubrimiento.

**Tabla 38**

*Resultados para la resistencia a la compresión  $f_c$  de los antepechos de las edificaciones*

	Valor máximo		Valor mínimo		Resistencia media	
	de rebote		de rebote		a compresión [kg/cm <sup>2</sup> ]	
	[R]		[R]			
	Bloque G	Bloque H	Bloque G	Bloque H	Bloque G	Bloque H
Sin recubrimiento	24	28	14	16	106,63	131,83
Con recubrimiento	24	28	20	22	116,01	151,16

### ***Pachómetro***

#### **Descripción**

El objetivo de realizar este ensayo es comprobar si en los antepechos de la estructura de los bloques G y H, existe algún elemento estructural o solamente es mampostería y enlucido. Por qué este ensayo permite encontrar y detallar el diámetro del armado tanto longitudinal como transversal de elementos de hormigón armado.

#### **Procedimiento**

- Realizar la configuración en el pachómetro con la opción de “concreto profundo”
- Colocar el equipo en el antepecho donde se quiere obtener la lectura.
- Deslizar el equipo lentamente hasta que detecte las varillas, para saber el diámetro con la ayuda de un lápiz marcamos sobre la superficie la longitud de la varilla para luego medir y obtener el diámetro.

Una vez obtenidos los diámetros, la profundidad además de la cantidad de armado longitudinal y transversal, comprobamos esta información con los planos estructurales.

### Equipos

- Pachómetro BOSCH- Wallscanner D-tect 150 (ver figura 65)
- 4 pilas doble A
- Lápiz

**Figura 65**

*Pachometro marca BOSCH*



**Figura 66**

*Cuatro (4) pilas doble A*



### Resultados

Al colocar el equipo tanto vertical como horizontalmente sobre los antepecho de las edificaciones se pudo observar que el pachómetro no detectaba ninguna varilla excepto las varillas que fueron ancladas para colocar las ventanas y los mesones de los laboratorios de Biotecnología en el primer piso, por lo que los antepechos fueron únicamente hechos de bloque y enlucidos (mampostería), dicha información pudimos corroborar en los libros de obra y en las planillas de construcción en ambas edificaciones.

**Figura 67**

*Verificación si existen varillas en los antepechos de las edificaicones. a) Bloque G, b) Bloque H.*



(a)



(b)

## **Capítulo 4**

### **Evaluación de la vulnerabilidad sísmica**

#### **Evaluación de la vulnerabilidad estructural**

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo presentar los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad estructural del edificio Bloque G de laboratorios y oficinas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para llevarlo a cabo se tomó en cuenta tres metodologías de evaluación basadas en las normativas NEC-2015, FEMA-P154 y FUNVISIS. Al aplicar las tres metodologías nos provee información importante a nivel de asertividad y aplicabilidad, de cada una de estas metodologías en edificaciones del Ecuador.

Al comparar los procesos y resultados de la evaluación de las tres metodologías aplicadas, se logró determinar que metodología presenta resultados de mayor confiabilidad, además analizar los parámetros que se relacionan más con la realidad técnica del territorio ecuatoriano.

Adicional, se presenta recomendaciones para la aplicación de las metodologías FEMA P-154 y FUNVISIS en el Ecuador, debido a que estas metodologías son basadas en la aplicación en Estados Unidos y Venezuela, y al adaptarlas al Ecuador deben ser analizar a fondo los parámetros para aumentar el nivel de aplicabilidad en el país.

#### **Metodología NEC**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015, propone mediante la “Guía para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras” la metodología para evaluación de vulnerabilidad estructural con lineamientos y pautas para poder determinar el índice de vulnerabilidad, el cual nos indica la probabilidad de colapso de la estructura. La metodología propuesta por la NEC-15 está basada en torno a la metodología estadounidense FEMA P-154, versión 2002.

El objetivo principal de esta evaluación es identificar las edificaciones más vulnerables frente a eventos sísmicos, que requieren otro tipo de estudio más detallado. El resultado de esto también podrá servir para: implementar programas de mitigación de riesgos para una región delimitada, inventario de edificaciones según su uso, etc. Este manual para el uso del formulario de evaluación visual rápida de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones se centra en tres actividades principales: planificación, recopilación de datos (formulario) e interpretación (MIDUVI, 2016).

### ***Descripción de la metodología***

El formulario propuesto por la NEC-2015 evalúa de manera cualitativa, y de manera muy puntual, los diferentes parámetros inmersos en la respuesta dinámica de la estructura. Una vez finalizado el formulario, el evaluador tendrá la tarea de interpretar el índice de vulnerabilidad obtenido de la evaluación, teniendo como premisa que mientras menor sea el índice de vulnerabilidad, mayor será la probabilidad de colapso de la estructura; la metodología propone límites del índice para la categorización de la vulnerabilidad de la edificación. El formulario se ha diseñado para ser llenado de una manera progresiva y con un mínimo de escritura (MIDUVI, 2016) (ver Figura 68).

El formulario ha sido diseñado para que se llene de manera progresiva y con un mínimo de escritura, y contiene los siguientes parámetros:

- Datos de la edificación.
- Datos del profesional.
- Esquema estructural en planta y elevación de la edificación.
- Fotografía del edificio.
- Tipología del sistema estructural.
- Puntajes básicos, modificadores y puntaje final.
- Observaciones



En la parte superior derecha del formulario, bajo los datos de la edificación, se presenta un espacio para registrar la información del profesional a cargo de la evaluación. Es necesario aclarar que el diseño del formulario hace que el llenado de este sea intuitivo, y no necesita de un nivel de preparación académica alto, es decir, que al evaluador le es suficiente poseer las nociones estructurales básicas para que logre llenar el formulario de forma efectiva.

### Datos de la edificación

En la sección ubicada en la parte superior derecha del formulario, se presenta un espacio para colocar la información respectiva de la edificación de estudio (ver Figura 69). Los datos a ingresar en esta sección son: dirección, nombre de la edificación, sitio de referencia, tipo de uso, fecha de evaluación, año de construcción, año de remodelación, área construida y número de pisos.

### Datos del evaluador

El formulario contiene una sección en la que se detalla la información del profesional a cargo de la evaluación (ver figura 3).

### Figura 69

*Recopilación de datos: Datos de la edificación y datos del evaluador a) Bloque G, b)*

#### *Bloque H*

DATOS EDIFICACIÓN	
Dirección: Av. General Rumiñahui S/N y Ambato, Campus Matriz de la Universidad de las	
Nombre de la Edificación: Bloque G	
Sitio de referencia: Junto al Bloque Central de la Universidad de las Fuerzas Armadas E	
Tipo de uso: Aulas y Laboratorios	Fecha de evaluación: 28/06/2022
Año de construcción: 2010	Año de remodelación: N/A
Área construida: 471.38 m2	Numero de pisos: 4
DATOS DEL PROFESIONAL	
Nombre del evaluador: Loya Carla	Nacimba Paola
Cédula del evaluador: 1727571380	1727159889
Registro SENESCYT: N/A	

a)

DATOS EDIFICACIÓN	
Dirección: Av. General Rumiñahui S/N y Ambato, Campus Matriz de la Universidad de	
Nombre de la Edificación: Bloque H de aulas	
Sitio de referencia: Al frente La Colina	
Tipo de uso: Aulas y Laboratorios de comp	Fecha de evaluación: 28/06/2022
Año de construcción: 2010	Año de remodelación: NA
Área construida: 471,38 m2	Número de pisos: 4
DATOS DEL PROFESIONAL	
Nombre del evaluador: Edwin Guama	Cristian Páez
Cédula del evaluador: 172123739-2	172340298-6
Registro SENESCYT: NA	

b)

### Esquema estructural en planta y elevación en la edificación

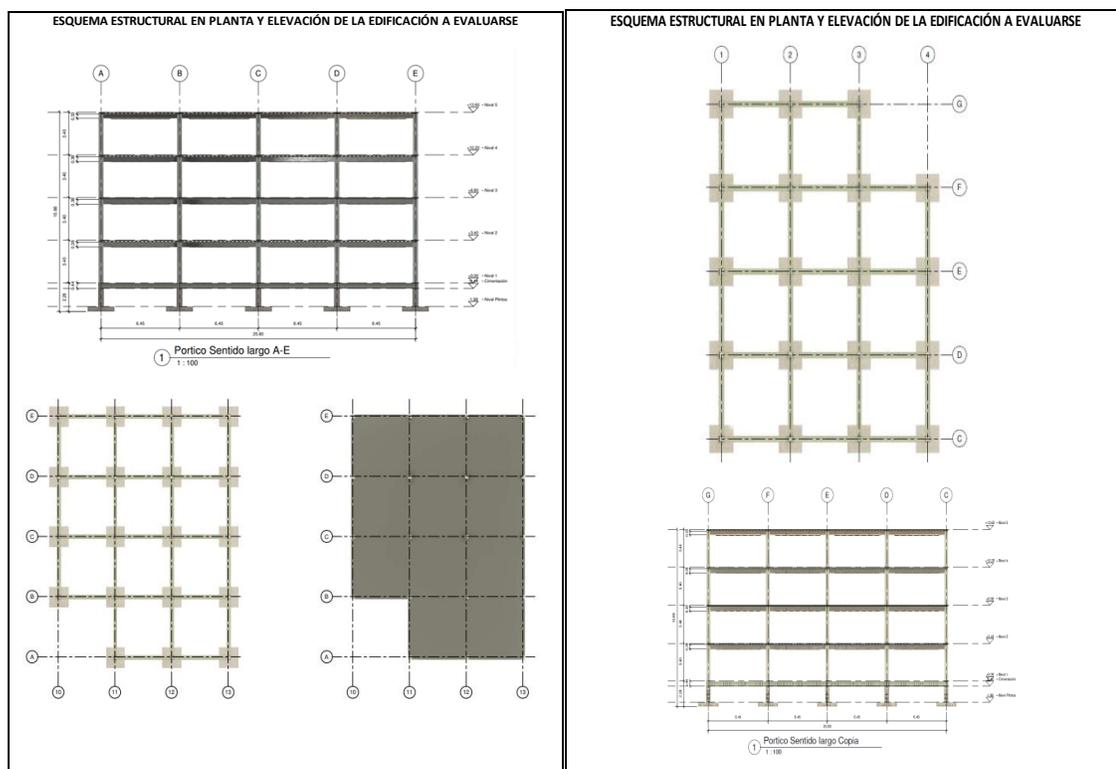
Se encuentra situado al costado superior izquierdo del formulario. Es importante ingresar en el formulario esquemas estructurales claros y precisos de la estructura de la edificación para observar la composición geométrica vertical y horizontal, se puede colocar planos realizados en softwares como Autocad, REVIT, etc.

Los esquemas son de gran utilidad para la evaluación de la edificación ya que se podrá evidenciar la presencia de irregularidades de la estructura.

#### Figura 70

*Recopilación de datos: Esquema estructural en planta y elevación de las edificaciones.*

*a) Bloque G, b) Bloque H.*



a)

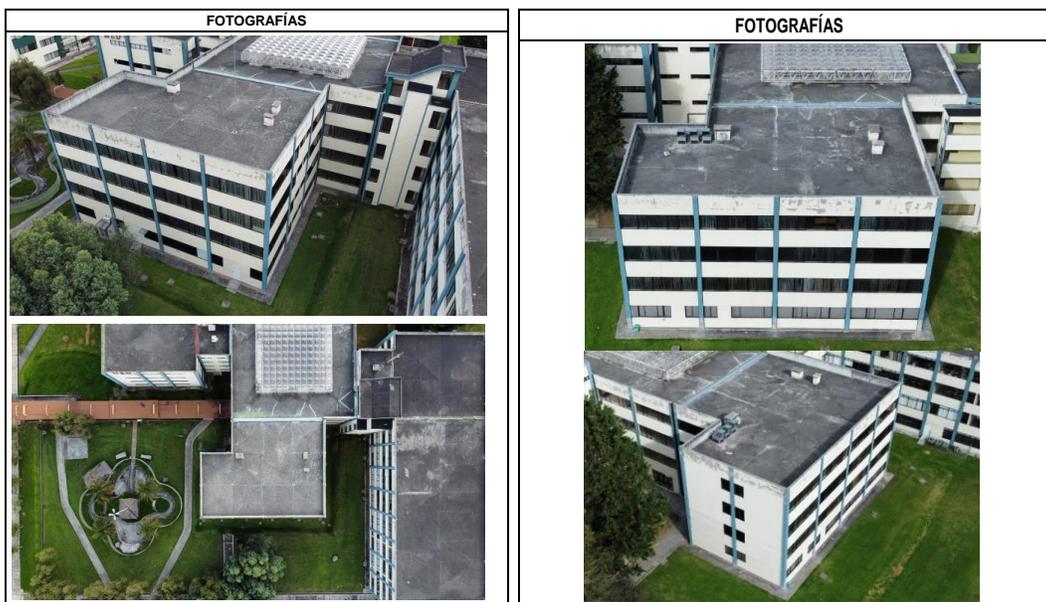
b)

## Fotografía

En esta sección se debe adjuntar fotografías de la edificación que sean claras y se pueda observar completamente la estructura, es decir, que se muestren sus irregularidades y condiciones actuales.

### Figura 71

Recopilación de datos: Fotografía. a) Bloque G, b) Bloque H.



a)

b)

## Identificación del sistema estructural

El profesional a cargo de la evaluación será el indicado en determinar el sistema estructural de la edificación de estudio.

El resultado final, S, que se considere será el de menor valor (MIDUVI, 2016).

Los tipos de estructuras que se puede encontrar en la mayoría del territorio ecuatoriano, han sido clasificadas en 13 grupos de acuerdo con la Guía No. 5 de la NEC-SE-DS, para cada se ha calculado un índice de peligro estructural (puntaje básico) que refleja la probabilidad de daño y pérdida de una edificación, basándose en FEMA 154 y 155. Y se muestran resumidos en el siguiente cuadro:

**Tabla 39***Tipos de sistema estructural*

<b>TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	
<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>	<b>CÓDIGO</b>
Madera	W1
Mampostería sin refuerzo	URM
Pórtico hormigón armado	C1
Pórtico h. Armado con muros estructurales	C2
Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3
H armado prefabricado	PC
Pórtico acero laminado	S1
Pórtico acero laminado con diagonales	S2
Pórtico acero doblado en frío	S3
Pórtico acero laminado con muros estructurales de Hormigón Armado	S4
Pórtico acero con paredes mampostería	S5
Mampostería reforzada	RH
Mixta Acero-Hormigón o Madera- Hormigón	MIX

*Nota:* Recuperado de (MIDUVI, 2016).

Los bloques G y H, se encuentran en la categoría de S5 según la Tabla 39, extraída de la “Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015”, además de la información que se obtuvo mediante el departamento de desarrollo físico de la universidad, como son planillas de obras y el libro de obra donde se detalla cómo fueron el proceso constructivo de ambos bloques y se especifica que son pórticos de acero y las paredes de mampostería (ver figura 64) lo cual pudimos comprobar mediante el

ensayo del esclerómetro que se realizó en los antepechos de los bloques, No obstante, considerando que esta metodología fue propuesta en base a la metodología FEMA P-154, en la cual la clasificación propuesta por ésta metodología tiene los mismos criterios de clasificación que la de la NEC-2015, pero no son iguales en su nominación textual. Ante esta problemática, y una vez más considerando que la metodología base es la FEMA P-154.

### **Figura 72**

*Tipología utilizada en la construcción de los bloques G y H.*



*Nota:* Recuperado del departamento de desarrollo físico de la UFA-ESPE.

### **Modificadores**

Los modificadores son que afectan al rendimiento de la edificación de estudio, cada uno tiene un valor y depende la tipología del sistema estructural. En caso que no aplique un modificador al tipo de sistema estructural el valor será indicado con N/A, es decir, no aplicable (MIDUVI, 2015).

La figura 73, se indica los valores de cada modificador usados en la evaluación de vulnerabilidad sísmica de los Bloques G y H seguidamente su respectiva justificación.

Figura 73

Valoración de los modificadores. a) Bloque G, b) Bloque H.

PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL S														
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
Puntaje básico	4,4	1,8	2,8	1,8	2,5	2,8	1,6	2,4	2,6	3	2	2,8	2	
<b>ALTURA DE LA EDIFICACIÓN</b>														
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	N/A	0,4	0,4	0,4
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0,3	0,6	0,8	0,3	0,4	0,6	0,8	N/A	0,8	0,8	0,8
<b>IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN</b>														
Irregularidad vertical	-2,5	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	-1
Irregularidad en planta	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
<b>CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN</b>														
Pre-código moderno (construido antes de 1977) o auto construcción	0	-0,2	-1	-1,2	-1,2	-1	-0,2	-0,8	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,2
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	N/A	2,8	1	1,4	2,4	1,4	1	1,4	1,4	1	1,6	1	1
<b>TIPO DE SUELO</b>														
Tipo de suelo C	0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
Tipo de suelo D	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4
Tipo de suelo E	0	-0,8	-0,4	-1,2	-1,2	-0,8	0,8	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-0,8
PUNTAJE FINAL														2,5

a)

PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL S														
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
Puntaje básico	4,4	1,8	2,8	1,8	2,5	2,8	1,6	2,4	2,6	3	2	2,8	2	
<b>ALTURA DE LA EDIFICACIÓN</b>														
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	N/A	0,4	0,4	0,4
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0,3	0,6	0,8	0,3	0,4	0,6	0,8	N/A	0,8	0,8	0,8
<b>IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN</b>														
Irregularidad vertical	-2,5	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	-1
Irregularidad en planta	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
<b>CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN</b>														
Pre-código moderno (construido antes de 1977) o auto construcción	0	-0,2	-1	-1,2	-1,2	-1	-0,2	-0,8	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,2
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	N/A	2,8	1	1,4	2,4	1,4	1	1,4	1,4	1	1,6	1	1
<b>TIPO DE SUELO</b>														
Tipo de suelo C	0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
Tipo de suelo D	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4
Tipo de suelo E	0	-0,8	-0,4	-1,2	-1,2	-0,8	0,8	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-0,8
PUNTAJE FINAL														2,5

b)

### **Modificador por tipo de estructura**

Indica el valor para el puntaje inicial, es el valor propio para cada sistema estructural, para la evaluación de las dos estructuras se ha tomado el valor del modificador de 2.

### **Modificador por altura de edificación**

Los valores numéricos de este modificador bonifican con una puntuación positiva a las estructuras de alturas mayores, para las edificaciones de estudio se adopta un valor de 0,4 valor correspondiente a estructuras de media altura.

### ***Modificador por irregularidades estructurales***

En la “Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015” se encuentra un listado de las irregularidades en planta y elevación posibles en una estructura.

El análisis de los bloques G y H, no presenta irregularidad vertical, pero si presenta irregularidad en planta como se puede apreciar en la fotografía inferior de la Figura 73, por ende, se decide adoptar un valor de -0,5 para el modificador de irregularidad en planta. Además, el formulario no presenta la opción de considerar encontrar más de una irregularidad en planta, o en elevación, lo que hace que se reduzca su nivel de asertividad con respecto a la metodología.

### ***Modificador por código de la construcción***

Considera los criterios para un diseño estructural sísmico considerados en las diferentes normas de construcción que se han desarrollado históricamente en el Ecuador, por esto, el modificado se divide en tres etapas. Las construcciones más antiguas han sido penalizadas por tener características deficientes en el comportamiento dinámico estructural. Teniendo en cuenta lo expuesto, este modificador toma el valor de 1, debido a que la construcción de la edificación de estudio fue realizada en el año 2010.

### ***Modificador por tipo de suelo***

En el formulario este modificador presenta tres opciones de tipo de suelo para calificar a la estructura (C, D y E), aunque en la NEC 2015 se puede identificar 6 tipos de suelo.

El tipo de suelo obtenido mediante los ensayos presentados en el capítulo 3, refleja un suelo tipo D, por esta razón se adopta el valor de -0.4 para este modificador.

### Puntaje final, $S$ y Grado de vulnerabilidad sísmica

Para una edificación, el puntaje final  $S$  se determina a partir de la suma y/o resta de los valores numéricos de cada uno de los modificadores. Hallado el valor se procede a indicar el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura. Si  $S$  es menor a 2, entonces será una estructura de alta vulnerabilidad y requerirá una evaluación especial, realizado por un ingeniero experto en diseño estructural. Un puntaje  $2.5 > S > 2.0$  implica que existe una media vulnerabilidad (MIDUVI, 2016).

#### Figura 74

Puntaje final,  $S$  y Grado de vulnerabilidad sísmica. a) Bloque G, b) Bloque H.

GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA		
$S < 2.0$	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial	
$2.5 > S > 2.0$	Media vulnerabilidad	x
$S > 2,5$	Baja vulnerabilidad	
		FIRMA RESPONSABLE EVALUACIÓN

a)

GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA		
$S < 2.0$	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial	
$2.5 > S > 2.0$	Media vulnerabilidad	x
$S > 2,5$	Baja vulnerabilidad	
		FIRMA RESPONSABLE EVALUACIÓN

b)

### Observaciones

Esta sección es para indicar las observaciones que se han presentado a lo largo de la evaluación de vulnerabilidad sísmica. El evaluador indicara si estas será con respecto a la construcción uso, condición, circunstancias inusuales que presente la edificación o algún detalle importante que se crea necesario mencionar (MIDUVI, 2016).

**Figura 75**

*Observaciones. a) Bloque G, b) Bloque H.*

**OBSERVACIONES:**

La estructura esta conformada por porticos de acero con paredes de mamposteria lo cual representa una mediana vulnerabilidad, por lo cual por las condiciones presenta una mediana vulnerabilidad requiriendo una evaluación especial.

a)

**OBSERVACIONES:**

Al presentarse una estructura mixta la cual consta de elementos de acero en combinación con concreto y paredes de mamposteria; y al no evidenciar la presencia de arriostramientos la podemos clasificar en el rango de media vulnerabilidad por lo que se requiere una evaluación especial.

b)

**Resultados**

Los bloques G y H presentan un índice de vulnerabilidad con base a la metodología NEC-2015 para la evaluación de su vulnerabilidad estructural, de 2,5, comparando este valor con los límites recomendados por la Guía para la categorización de la vulnerabilidad sísmica de una edificación, se tiene que los bloques G y H, presenta una “Media vulnerabilidad y requieren una evaluación especial”; hace referencia a un estudio cuantitativo de la respuesta dinámica de la estructura ante la ocurrencia de un evento telúrico, y a través de los resultados de este estudio tomar las acciones pertinentes.

**Tabla 40***Resultados de la Metodología NEC-2015.*

<b>Edificio</b>	<b>Puntaje final, S</b>	<b>Grado de vulnerabilidad sísmica</b>	<b>Observación</b>
Bloque G	2,5	media vulnerabilidad y requieren una evaluación especial	$2.5 > S > 2.0$ Irregularidad en planta.
Bloque H	2,5	media vulnerabilidad y requieren una evaluación especial	$2.5 > S > 2.0$ Irregularidad en planta

**Observaciones**

A continuación, se redactan las observaciones que se aplicaron lo largo de la evaluación sísmica de los Bloques G y H:

- Una de las ventajas principales es el resultado de este tipo de análisis pretende identificar aquellas edificaciones que potencialmente puedan resultar vulnerables frente a un sismo, con el objetivo de diseñar programas de mitigación de riesgo sísmico para una localidad, barrio, ciudad, etc., como en este caso particular se requiere para los bloques G y H de la universidad de las fuerzas Armadas. Adicionalmente, se pueden generar inventarios de aquellas edificaciones de la universidad que requieran posibles rehabilitaciones y planes de emergencia durante y después de un evento sísmico, entre muchas otras cosas.
- El objetivo principal de esta evaluación es identificar la susceptibilidad o nivel de daño que sufriría una edificación ante un evento sísmico, teniendo en cuenta que existen diferentes métodos para el análisis de vulnerabilidad; como

los cualitativos, en los que se evalúa de manera sencilla y rápida mediante la identificación de fallas o deterioros estructurales, y los métodos cuantitativos cuando se requiere un estudio más detallado, obteniendo modelos que permitan evaluar o evidenciar el daño estructural de manera más específica. El estudio corresponde a una evaluación visual rápida, es decir, un método cualitativo, por lo cual es necesario realizar una visita a la edificación y llenar el formulario de la Guía No. 5 de la NEC-2015, para de esta manera categorizar a la edificación en los grupos de vulnerabilidad Baja, Media o Alta.

- Existe evidencia de que la metodología NEC-2015 es deficiente en la traducción del contenido del método que subyace de la metodología FEMA P-154. Como ejemplo se puede ver que en la traducción del sistema estructural tipo C3, que se describe en inglés como: "Concrete frame with unreinforced masonry infill", traducido al español como: "Estructura de hormigón con relleno de mampostería no reforzada", Este último es diferente de la descripción en el método NEC-2015, a saber: " Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo ". El hecho de que la traducción sea, por tanto, una adaptación ineficiente hace que este método presente un nivel de confianza muy bajo.
- Las puntuaciones correspondientes a las irregularidades de planta y elevación estipuladas por NEC-2015 no dan a los evaluadores la oportunidad de considerar múltiples irregularidades o posibles combinaciones entre ellas. Se puede recomendar que las infracciones se evalúen individualmente en función de su tipo y exigencia.
- Otra desventaja que se pudo observar en la metodología NEC-2015 es que no es asignada la importancia adecuada a la consideración de las amenazas no estructurales, como puede ser la existencia de: apéndices, cisternas, parapetos, entre otros, si se presentan fenómenos naturales como los

movimientos telúricos la estabilidad e integridad estructural de la edificación puede verse significativamente comprometida.

### **Metodología FEMA P-154**

La Metodología FEMA P-154. De acuerdo a la sección 7 de la normativa competente para la evaluación y rehabilitación de estructuras (NEC – SE – RE), menciona a la metodología FEMA P-154 como uno de los procedimientos para inspección y evaluación visual rápida de estructuras que presenten una alta probabilidad de riesgo sísmico, tiene como finalidad de identificar aquellos inmuebles que requieren un estudio de mayor profundidad dirigido por un especialista profesional.

Esta sección pretende brindar una visión general y clara del proceso de evaluación estructural para las aulas G y H: aplicación de laboratorio de la metodología FEMA P-154, que emplea una secuencia de pasos para permitir una evaluación eficaz. Además, se presentan las normas técnicas para adaptar el método FEMA P-154 al entorno técnico constructivo del Ecuador, ya que el método fue creado para Estados Unidos, teniendo en cuenta las características sísmicas, técnicas y constructivas del país, y para por esta razón, en Ecuador Cuando se implementa a nivel nacional, el método debe adaptarse a la situación real en Ecuador para obtener resultados confiables, especialmente precisos.

FEMA, por sus siglas en inglés, es la “Agencia Federal para el Manejo de Emergencias” en los Estados Unidos, diciendo que la agencia ha propuesto una serie de criterios y lineamientos para determinar los índices de vulnerabilidad en sus códigos FEMA-P154 y FEMA P-155, es decir, directamente relacionado con el colapso estructural posibilidad. Es importante recordar que existen tres versiones del método propuesto en la especificación FEMA-P154, siendo la tercera versión la utilizada en el presente trabajo, publicado en enero de 2015.

El presente capítulo tiene como objetivo brindar una perspectiva general, y clara, del proceso de evaluación estructural del Bloque G y Bloque H de la Universidad de las Fuerzas Armadas, aplicando la metodología FEMA P-154, para lo cual se presenta la secuencia de pasos adoptada con la que se alcanzó una evaluación adecuada. Además, se presenta los criterios técnicos para la adaptación de la metodología FEMA P-154 al entorno técnico-constructivo en el territorio ecuatoriano, ya que dicha metodología fue elaborada para los Estados Unidos, por lo que la metodología considera las características sísmicas, técnicas, y constructivas de ese país, es por tal motivo que la adaptación de la metodología a la realidad del Ecuador es poco asertiva para alcanzar resultados confiables, y sobre todo precisos su aplicación.

### ***Descripción de la metodología***

El código FEMA P-154 en su metodología propuesta indica el uso de dos formularios, Formulario Nivel 1 y Formulario Nivel 2 para el desarrollo de la evaluación de vulnerabilidad estructural de una edificación (ver las Figuras 76 y 77).



Figura 77

Formulario 2 para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una estructura.

**Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards** **Level 2 (Optional)**  
**FEMA P-154 Data Collection Form** **HIGH Seismicity**  
 Optional Level 2 data collection to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Bldg Name:	Final Level 1 Score: $S_{L1} =$	(do not consider $S_{L1}$ )
Screened:	Level 1 Irregularity Modifiers: Vertical Irregularity, $V_{L1} =$	Plan Irregularity, $P_{L1} =$
Date/Time:	ADJUSTED BASELINE SCORE: $S^* = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) =$	

STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE			
Topic	Statement (if statement is true, circle the "Yes" modifier; otherwise cross out the modifier.)	Yes	Subtotals
Vertical Irregularity, $V_{L2}$	Sloping Site W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-1.2	
	Non-W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-0.3	
Weak and/or Soft Story (circle one maximum)	W1 building cripple wall: An unbraced cripple wall is visible in the crawl space.	-0.6	
	W1 house over garage: Underside of an occupied story, there is a garage opening without a steel moment frame, and there is less than 8' of wall on the same line (for multiple occupied floors above, use 16' of wall minimum).	-1.2	
	W1A building open front: There are openings at the ground story (such as for parking) over at least 50% of the length of the building.	-1.2	
	Non-W1 building: Length of lateral system at any story is less than 50% of that at story above or height of any story is more than 2.0 times the height of the story above.	-0.9	
	Non-W1 building: Length of lateral system at any story is between 50% and 75% of that at story above or height of any story is between 1.3 and 2.0 times the height of the story above.	-0.5	
Setback	Vertical elements of the lateral system at an upper story are outboard of those at the story below causing the diaphragm to cantilever at the offset.	-1.0	
	Vertical elements of the lateral system at upper stories are inboard of those at lower stories.	-0.5	
Short Column/Pier	There is an in-plane offset of the lateral elements that is greater than the length of the elements.	-0.3	
	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: At least 20% of columns (or piers) along a column line in the lateral system have height/depth ratios less than 50% of the nominal height/depth ratio at that level.	-0.5	
Split Level Irregularity	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: The column depth (or pier width) is less than one half of the depth of the spandrel, or there are infill walls or adjacent floors that shorten the column.	-0.5	
	There is a split level at one of the floor levels or at the roof.	-0.5	
	Other Irregularity: There is another observable moderate vertical irregularity that may affect the building's seismic performance.	-0.5	
Plan Irregularity, $P_{L2}$	Torsional irregularity: Lateral system does not appear relatively well distributed in plan in either or both directions. (Do not include the W/A open front irregularity listed above.)	-0.7	
	Non-parallel system: There are one or more major vertical elements of the lateral system that are not orthogonal to each other.	-0.4	
	Rear-trant corner: Both projections from an interior corner exceed 25% of the overall plan dimension in that direction.	-0.4	
	Diaphragm opening: There is an opening in the diaphragm with a width over 50% of the total diaphragm width at that level.	-0.2	
	C1, C2 building out-of-plane offset: The exterior beams do not align with the columns in plan.	-0.4	
	Other irregularity: There is another observable plan irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-0.7	
Redundancy	The building has at least two bays of lateral elements on each side of the building in each direction.	+0.3	
Pounding	The floors do not align vertically within 2 feet.	: (Cap total -1.0	
	One building is 2 or more stories taller than the other.	: pounding -1.0	
	The building is at the end of the block.	: modifiers at -1.2	
S2 Building	"K" bracing geometry is visible.	-1.0	
C1 Building	Flat plate serves as the beam in the moment frame.	-0.4	
PC1/RM1 Bldg	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending. (Do not combine with post-benchmark or retrofit modifier.)	+0.3	
PC1/RM1 Bldg	The building has closely spaced, full height interior walls (rather than an interior space with few walls such as in a warehouse).	+0.3	
URM	Gable walls are present.	-0.4	
MH	There is a supplemental seismic bracing system provided between the carriage and the ground.	+1.2	
Retrofit	Comprehensive seismic retrofit is visible or known from drawings.	+1.4	M =
<b>FINAL LEVEL 2 SCORE, <math>S_{L2} = (S^* + V_{L2} + P_{L2} + M) \geq S_{MIN}</math>:</b> (Transfer to Level 1 form)			
There is observable damage or deterioration or another condition that negatively affects the building's seismic performance: <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If yes, describe the condition in the comment box below and indicate on the Level 1 form that detailed evaluation is required independent of the building's score.			

OBSERVABLE NONSTRUCTURAL HAZARDS				
Location	Statement (Check "Yes" or "No")	Yes	No	Comment
Exterior	There is an unbraced unreinforced masonry parapet or unbraced unreinforced masonry chimney.			
	There is heavy cladding or heavy veneer.			
	There is a heavy canopy over exit doors or pedestrian walkways that appears inadequately supported.			
	There is an unreinforced masonry appendage over exit doors or pedestrian walkways.			
	There is a sign posted on the building that indicates hazardous materials are present.			
	There is a taller adjacent building with an unanchored URM wall or unbraced URM parapet or chimney.			
Interior	Other observed exterior nonstructural falling hazard.			
	There are hollow clay tile or brick partitions at any stair or exit corridor.			
Other observed interior nonstructural falling hazard.				

**Estimated Nonstructural Seismic Performance** (Check appropriate box and transfer to Level 1 form conclusions)

Potential nonstructural hazards with significant threat to occupant life safety → Detailed Nonstructural Evaluation recommended

Nonstructural hazards identified with significant threat to occupant life safety → But no Detailed Nonstructural Evaluation required

Low or no nonstructural hazard threat to occupant life safety → No Detailed Nonstructural Evaluation required

Comments:

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

Los formularios propuestos por la metodología del código FEMA P-154 evalúan cualitativamente, y de manera muy específica, los parámetros que están implícitos en la respuesta dinámica de una estructura. Una vez completos los formularios, el evaluador se encargará de interpretar el índice de vulnerabilidad obtenido de la evaluación, asumiendo que el índice de vulnerabilidad es a mayor grado de vulnerabilidad, menor probabilidad de colapso estructural; a metodología sugiere límites para el índice de

Clasificación de Vulnerabilidades de Edificios. Los formularios están diseñados para completarse de forma incremental y con un mínimo de escritura (ver las Figuras 76 y 77) (FEMA P-154, 2015).

A continuación, se cita el proceso recomendado por la (FEMA P-154, 2015) para un llenado eficaz del Formulario Nivel 1.

- a) Verificar y actualizar la información de identificación del edificio;
- b) Caminar por el edificio para identificar el número de pisos y la forma, y dibujar un plano y una vista de alzado en el formulario de recopilación de datos;
- c) Fotografiar el edificio;
- d) Determinar y documentar la ocupación;
- e) Revisar el tipo de suelo y los peligros geológicos, identificados durante el proceso de planificación previa al campo;
- f) Identificar problemas de adyacencia, irregularidades en la construcción y cualquier peligro potencial de caída exterior;
- g) Agregar comentarios sobre condiciones o circunstancias inusuales que puedan afectar la evaluación;
- h) Identificar el material de construcción, el sistema de transporte de carga por gravedad y el sistema de resistencia a la fuerza sísmica para identificar el tipo de edificio de FEMA (entrar al edificio, si es posible, para facilitar este proceso) y marcar con un círculo la puntuación básica en el formulario de recopilación de datos;
- i) Marcar con un círculo los modificadores de puntuación de atributo de rendimiento sísmico apropiados (por ejemplo, irregularidades, fecha de diseño y tipo de suelo) en el formulario de recopilación de datos;
- j) Determinación del puntaje final del nivel 1,  $S_{L1}$  (ajustando el puntaje básico del paso 8 con los modificadores de puntaje identificados en el paso 9); y
- k) Completar la sección de resumen al final del formulario (es decir, alcance de la revisión, otros peligros y acción requerida).

Con la información obtenida de llenar el Formulario Nivel 1, resulta más sencillo llenar el Formulario Nivel 2, debido a que este se llena considerando los lineamientos antes utilizados en el Formulario Nivel 1,

A partir de la información recabada para el llenado del Formulario Nivel 1, es sencillo el llenado del Formulario Nivel 2, puesto que en este se realiza la evaluación considerando los mismos lineamientos que los considerados en el Formulario Nivel 1, pero bajo una disposición diferente de la información adoptando una estructura más sistematizada.

### ***Registro de datos en formulario Nivel 1***

En esta sección se detalla el proceso de llenado del formulario Nivel 1 según el método sugerido para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de los bloques de aulas en los laboratorios G y H de la ESPE de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, Código FEMA-P154, Segunda Edición. Para que quede claro, este formulario debe completarse durante la visita de campo, ya que está diseñado para permitir la introducción gradual de información de manera muy puntual, con un requisito mínimo por escrito.

#### **Datos de la edificación**

Antes de entrar de lleno a la aplicación de la metodología FEMA P-154 para la evaluación visual rápida de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, el evaluador tiene el deber de buscar la mayor cantidad posible de información del edificio encuestado, con el fin de conocer todo acerca de los aspectos estructurales relevantes de la edificación; lo óptimo es poseer los planos estructurales y arquitectónicos, así como también las fichas técnicas empleadas en el proceso constructivo del edificio. A continuación, se presenta los parámetros más relevantes que componen la información que se debe obtener de la edificación encuestada, y con su respectivo valor para el caso tanto del bloque G como el bloque H.

**Dirección**

Las dos edificaciones de estudio están situadas junto al Bloque central de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Campus matriz, que se encuentra ubicada en: Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, en la intersección de las calles Av. General Rumiñahui s/n y Ambato, junto a la fábrica “FAME” y frente a la urbanización “La Colina”.

**Nombre del edificio**

- Edificación 1: Bloque G de aulas - laboratorios, del Campus Sangolquí de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
- Edificación 2: Bloque H de aulas - laboratorios, del Campus Sangolquí de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE

**Uso**

- Bloque G: Escuela
- Bloque H: Escuela

**Coordenadas**

La Tabla 41, muestra las coordenadas geográficas de los edificios evaluados.

**Tabla 41**

*Coordenadas geográficas de referencia de las edificaciones evaluadas*

<b>Edificio</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Bloque G	0°18'47,64" S	78°26'42,69" O
Bloque H	0°18'46,72" S	78°26'43,85" O

*Nota:* Recuperado de Google Earth

### **Número de pisos**

Las dos edificaciones estudiadas están conformadas de 4 pisos estructurales, 3 entrepisos y una cubierta,  $N = 4$ .

### **Año de construcción**

Los Bloques G y H de aulas – laboratorios, fueron construidos en el año 2010 por el Cuerpo de Ingenieros del Ecuador. Esta información fue recolectada de los libros de obra. Qué fue facilitado por el departamento de desarrollo físico de la UFA-ESPE

### **Información del tipo de suelo**

Las características geológicas de la zona de instalación de la edificación se deben determinar a partir de ensayos de suelos que permitan la clasificación e identificación del suelo, a continuación, en la tabla 42 se presentan las características geológicas de la zona de emplazamiento de las edificaciones objeto de estudio.

**Tabla 42**

*Información geotécnica de la zona de emplazamiento Bloque G y Bloque H.*

<b>Edificio</b>	<b>Período de vibración [s]</b>	<b>Velocidad de onda de corta <math>V_{S30}</math> [m/s]</b>	<b>Tipo de suelo según NEC-SE-DS,2014.</b>
Bloque G	0,504	349,78	D
Bloque H	0,300	351,600	D

### **Nivel de sismicidad**

La metodología FEMA P-154 cuenta con 5 diferentes formularios para evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones. El tipo de formulario que se use para evaluar la vulnerabilidad dependerá del nivel de sismicidad donde se ubique la estructura. En la tabla 44 se muestra los niveles de sismicidad, los cuales dependerán

de la respuesta espectral de aceleración para el periodo largo y corto de la región para la selección del formulario. Ecuador al ser generalmente un país con un nivel de sismicidad alto, por lo general va a usar los formularios de alta y muy alta sismicidad

**Tabla 43**

*Niveles de sismicidad*

Referencia Nivel de sismicidad FEMA P-154		
Sismicidad de la región	Respuesta espectral de aceleración, $S_s$ , para período corto.	Respuesta espectral de aceleración, $S_1$ , para período largo.
Baja	$S_s < 0.25 \times g$	$S_1 < 0.10 \times g$
Moderada	$0.25 \times g \leq S_s < 0.50 \times g$	$0.10 \times g \leq S_1 < 0.20 \times g$
Moderadamente Alta	$0.50 \times g \leq S_s < 1.00 \times g$	$0.20 \times g \leq S_1 < 0.40 \times g$
Alta	$1.00 \times g \leq S_s < 1.50 \times g$	$0.40 \times g \leq S_1 < 0.60 \times g$
Muy alta	$S_s \geq 1.50 \times g$	$S_1 \geq 0.60 \times g$

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

El nivel de sismicidad dependerá de la respuesta espectral de aceleración  $S_s$  y  $S_1$ , donde:

- $S_s$ : Respuesta espectral de aceleración, para período corto o 0.2 seg.
- $S_1$ : Respuesta espectral de aceleración, para período largo o 1.0 seg.

Para determinar la Respuesta espectral de aceleración, la Norma Ecuatoriana de Construcción sugiere evaluar la zona con un período retorno de 2500 años, en comparación con Estados Unidos que toma un período retorno de 2475 años para considerar el máximo sismo. Por otro lado, la NEC-SE-DS (2015) no propone valores directos de  $S_s$  y  $S_1$ , por lo que trabaja con el espectro de diseño con un período retorno

de 475 años, un amortiguamiento de 0,05 y una tasa de excedencia del 10%, de esta manera se adapta la metodología para determinar el nivel de sismicidad.

Para definir los valores de  $S_s$  y  $S_1$ , y el máximo sismo considerado para la región de Ecuador se usará las curvas de peligrosidad sísmicas dadas por la NEC-SE-DS (2015) para la ciudad de Quito, debido a que es el sector más cercano a la estructura estudiada. Tomando los períodos de retorno de 2475 años y 475 años se determinan los valores de  $S_s$  y  $S_1$ , para proceder a calcular el nivel de sismicidad de la zona de la estructura evaluada.

En la tabla 44 se indican la información requerida para calcular los valores de  $S_s$  y  $S_1$  y en la figura 78 se presenta las curvas de peligrosidad sísmica en Quito donde nos muestra la respuesta espectral de aceleración en función a los períodos de retorno que establece la Norma Ecuatoriana.

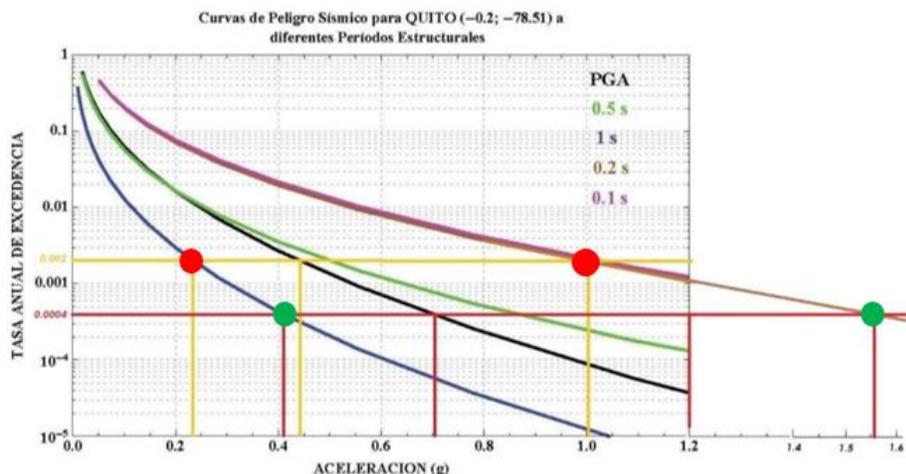
**Tabla 44**

*Valores de  $S_s$  y  $S_1$  en base a la curva de peligrosidad sísmica de la zona.*

Período de retorno	Tasa anual de excedencia	Aceleración Espectral Esperada			
		Factor Z	PGA	$S_s (T = 0,2 s)$	$S_1 (T = 1,0 s)$
$T_r$	$1/T_r$				
475	0,002	0,4	0,44	1	0,23
2475	0,0004	-	0,7	>1,2 ( $\approx 1,56$ )	0,41

**Figura 78**

Valores de  $S_s$ ,  $S_1$  y PGA en base de la curva de peligro sísmico de la zona



Nota: Recuperado de (NEC-15, 2015)

**Tabla 45**

Interpretación de  $S_s$  y  $S_1$

Nivel de Sismicidad de la zona de estudio		
Acercaciones máximas probables [g]	Nivel de Sismicidad	
$S_s$	>1.2 ( $\approx 1.56$ )	Muy alta
$S_1$	0.4100	Alta

Con estos resultados se relacionan al Máximo Terremoto Considerable de Respuesta (MCER) que menciona la metodología FEMA P-154. Entonces, para esta estructura, y a partir de los valores de las aceleraciones espectrales relacionadas con el máximo sismo considerado (MCER), se considera a la sismicidad de la zona como muy alta.

A pesar de que el valor de la aceleración espectral para período largo,  $T=1$  s, entra en el rango de nivel de sismicidad alto, se adoptó el nivel de sismicidad que le

corresponde a la aceleración espectral para período corto,  $T=0.2$  s, esto debido a que la estructura evaluada posee un total de 4 pisos, por lo que su período de vibración se asemeja más al valor de 0.2 s que a un valor de 1.0 s.

### Selección del formulario

A partir del nivel de sismicidad obtenido, se debe seleccionar el tipo de formulario correspondiente a dicho nivel, estos formularios se encuentran disponibles en el Apéndice B del libro de mano FEMA P-154 (2015). Para el presente ejemplo se debe seleccionar el tipo de formulario correspondiente a un nivel “Muy alto” de sismicidad (ver Figura 79).

### Figura 79

*Formularios de evaluación estructural para zona de nivel de sismicidad muy alto, (a) Formulario Nivel 1, (b) Formulario Nivel 2 (opcional)*

**Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards**  
FEMA P-154 Data Collection Form

**Level 1**  
**VERY HIGH Seismicity**

PHOTOGRAPH	Address: _____	
	Zip: _____	
	Other Identifiers: _____	
	Building Name: _____	
	Use: _____	
	Latitude: _____	Longitude: _____
	S <sub>s</sub> : _____	S <sub>i</sub> : _____
	Screener(s): _____ Date/Time: _____	
No. Stories: _____	Above Grade: _____	Below Grade: _____
Year Built: _____	<input type="checkbox"/> EST	
Total Floor Area (sq. ft.): _____		Code Year: _____

(a)

**Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards**  
FEMA P-154 Data Collection Form

**Level 2 (Optional)**  
**VERY HIGH Seismicity**

Optional Level 2 data collection to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Bldg Name: _____	Final Level 1 Score: $S_{L1} =$	<i>(do not consider <math>S_{MIN}</math>)</i>	
Screener: _____	Level 1 Irregularity Modifiers:	Vertical Irregularity, $V_{L1} =$	Plan Irregularity, $P_{L1} =$
Date/Time: _____	ADJUSTED BASELINE SCORE:	$S' = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) =$	

(b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

Seleccionado el tipo de formularios, se procede a llenar el formulario "Nivel 1" con la información adquirida en pasos previos. En la Figura 80 se indica el proceso ya aplicado en los edificios de estudio.

**Figura 80**

*Datos de inicio del Formulario "Nivel 1" FEMA P-154. a) Bloque G, b) Bloque H.*

Nivel 1	
MUY ALTA Sismicidad	
Dirección: Ecuador/Pichincha/Rumiñahui, Av. General Rumiñahui s/n y Ambato Código Postal 170501	
Otra Identificación: Junto al Bloque Central de la UFA-ESPE	
Nombre del Edificio: Bloque G UFA-ESPE	
Uso: Aulas y laboratorios	
Latitud: 0°18'47.16"S	Longitud: 78°26'42.43"O
Ss: 1.56 g	S1: 0.41 g
Inspector(s): Loya C., Nacimba P. Fecha/Hora: 05 de Julio 2022	
No. Pisos: Niveles superiores: 4 Niveles inferior: 0	Año de Construcción: 2010
Superficie total del Suelo (sq. Ft.): 471.38 m2 Código año: _____	
Adiciones: <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sí, Años Construcción: _____	
Ocupación:	
Asamblea	Comercial
Industrial	Oficina
Utilidad	Almacén
Ser. Emergencia	Escuela
Historico	Gobierno
Residencial, # Unid: _____	
Tipo de Suelo:	
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>
C <input type="checkbox"/>	D <input checked="" type="checkbox"/>
E <input type="checkbox"/>	F <input type="checkbox"/>
No sé	
Si No sabe, asumir Tipo D.	
Roca	Suelo
Dura	Debil
Denso	Duro
Blando	pobre

a)

Nivel 1	
MUY ALTA Sismicidad	
Dirección: Ecuador/Pichincha/Rumiñahui, Av. Gral. Rumiñahui s/n y Ambato Código Postal 170501	
Otra Identificación: Junto al Bloque Central de la UFA-ESPE	
Nombre del Edificio: Bloque H de aulas UFA-ESPE	
Uso: Aulas y Laboratorios	
Latitud: 0°18'46.72S	Longitud: 78°26'43.85"O
Ss: 1.56 g	S1: 0.41 g
Inspector(s): Guama E/Páez C. Fecha/Hora: 05/07/2021	
No. Pisos: Niveles superiores: 4 Niveles inferior: 0	Año de Construcción: 2010
Superficie total del Suelo (sq. Ft.): 471.38 m2 Código año: _____	
Adiciones: <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sí, Años Construcción: _____	
Ocupación:	
Asamblea	Comercial
Industrial	Oficina
Utilidad	Almacén
Ser. Emergencia	Escuela
Historico	Gobierno
Residencial, # Unid: _____	
Tipo de Suelo:	
A <input type="checkbox"/>	B <input type="checkbox"/>
C <input type="checkbox"/>	D <input checked="" type="checkbox"/>
E <input type="checkbox"/>	F <input type="checkbox"/>
No sé	
Si No sabe, asumir Tipo D.	
Roca	Suelo
Dura	Debil
Denso	Duro
Blando	pobre

b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

### Tipo de suelo

La metodología FEMA P-154 con respecto al tipo de suelo, toma como referencia la clasificación e identificación de suelos propuesta en la ASCE (ver Tabla

46). Con el valor de la velocidad de onda de corte a los 30 primeros metros de profundidad de la zona donde se encuentran ubicadas las edificaciones evaluadas, al comparar este valor con los lineamientos establecidos en la clasificación por la AESC, se obtiene que el suelo en los Bloques G y H es de tipo D.

**Tabla 46**

*Tipos de suelos FEMA P-154*

<b>Tipo de perfil</b>	<b>Descripción</b>	<b>Definición</b>
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1524$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media Perfiles de suelos muy densos o roca	$1524$ m/s $> V_s \geq 762$ m/s
C	blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante Perfiles de suelos rígidos que cumplan	$762$ m/s $> V_s \geq 366$ m/s
D	con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$366$ m/s $> V_s \geq 183$ m/s
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$V_s < 183$ m/s

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

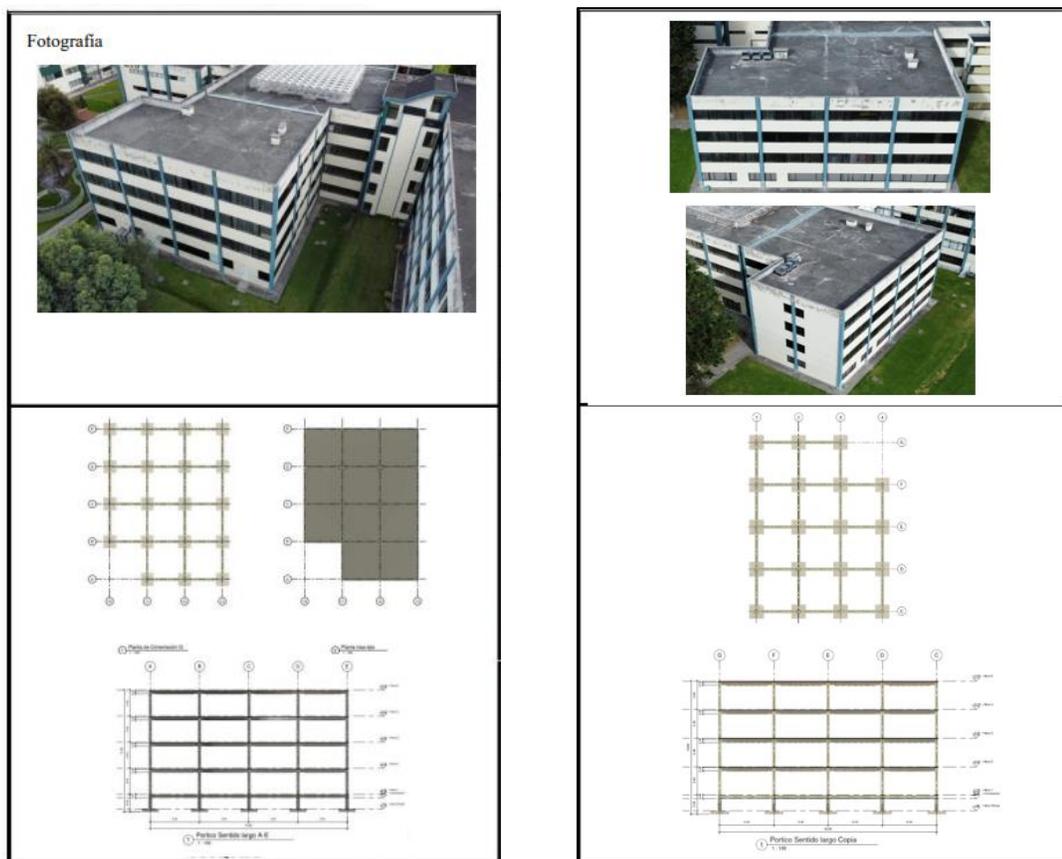
### **Fotografía y Croquis**

Este formulario en su primera parte, solicita adjuntar una fotografía y la realización de un croquis, además de la información general; para que el evaluador tenga en cuenta la composición geométrica general del edificio al momento de realizar la evaluación. El nivel de detalle del croquis puede ser básico debido a que los formularios fueron diseñados para ser llenados en campo, teniendo en cuenta que se debe considerar representar la geometría general del edificio lo más general posible.

En las Figura 81 se muestran las fotografías y los croquis de las edificaciones evaluadas. Para las dos estructuras se adjuntó esquemas estructurales realizados en el software REVIT, también se pueden utilizar esquemas de planos estructurales o arquitectónicos, si no se dispone de esta información, se ve obligado a realizar el croquis de la geometría general de la estructura con sus aspectos relevantes.

### Figura 81

*Fotografías y croquis de los edificios evaluados. a) Bloque G, b) Bloque H.*



(a)

(b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

### Riesgos Geológicos

Los tres tipos de peligros geológicos que considera la metodología FEMA P-154 son: deslizamiento, licuefacción y superficie de ruptura. En el presente caso, ninguno de los dos Bloques presenta alguna presencia de peligro geológico.

### Adyacencia

La metodología FEMA P-154 profundiza más el problema de adyacencias definiendo separaciones mínimas entre edificaciones en función del nivel de sismicidad que se presente en la zona.

**Tabla 47**

*Separación mínima entre estructuras adyacentes*

<b>Nivel de Sismicidad</b>	<b>Separación mínima (por piso)</b>
Baja	0,5 in.
Moderada	0,5 in.
Moderadamente Alta	1,0 in.
Alta	1,5 in.
Muy alta	2,0 in.

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

Para el caso del Bloque G, se evidencia el adosamiento entre este, y el bloque central que conecta con el bloque D, y para el caso del Bloque H, se evidencia el adosamiento entre este, y el bloque central que conecta con el bloque C la separación libre entre estos dos edificios es de 30 cm, el valor inferior al mínimo recomendado por la FEMA P-154, 5 cm por cada piso existente en la estructura.

### Irregularidades

El método FEMA P-154 clasifica las diferentes irregularidades estructurales que pueden existir en las edificaciones, según su tipo y su severidad ante la presencia de irregularidades de elevación, como se muestra en la tabla 48.

Las tablas 48 y 49 muestran diferentes irregularidades estructurales planta y elevación, respectivamente, todas las irregularidades enumeradas en estas dos tablas están definidas y detalladas individualmente en el texto del manual de método, correspondiente al Código FEMA P-154.

#### Tabla 48

##### *Irregularidades estructurales en elevación FEMA P-154*

<b>Irregularidad</b>	<b>Nivel de Peligro</b>
Sitio inclinado	Moderado
Piso débil y/o blando	Severo
Desplazamientos de los planos de acción	Severo
Discontinuidad dentro del plano de acción	Moderado
Columnas o muros cortos	Severo
Niveles divididos	Moderado

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

**Tabla 49***Irregularidades estructurales en planta FEMA P-154*

<b>Irregularidad</b>
Torsión
Sistemas no paralelos
Esquinas reentrantes
Orificios prominentes en los pisos (50%)
Las vigas no se alinean con las columnas

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

Los bloques G y H con respecto al análisis en elevación, no presentan ningún tipo de irregularidad estructural. En el análisis en planta presentan una irregularidad “planta tipo L”, por esta razón, en base a la Tabla 49 se elige la opción de esquinas reentrantes.

Por decisión personal de los autores, se decide considerar como irregularidad en planta, correlacionando el nivel de peligro de este caso con los propuestos en la Tabla 49. También, se aprecia que en el formulario se puede considerar más de una irregularidad en planta, o elevación, lo que hace que la metodología tenga un mejor nivel de asertividad.

### **Peligros no estructurales**

La metodología FEMA P-154 al igual que en el tema de adyacencias también profundiza el análisis de peligros no estructurales en una estructura. Los posibles peligros no estructurales que considera esta metodología son: revestimientos, apéndices, chimeneas, parapetos y otros posibles objetos de gran envergadura.

Los Bloques G y H presenta como peligros no estructurales la existencia de parapetos en los entresijos, a más de este peligro, no se evidencia ningún otro tipo de riesgo (ver Figura 80).

### Comentarios

En esta sección se pueden registrar observaciones que se han presentado a lo largo del desarrollo del Formulario Nivel 1, sean estos respecto al uso, condición, construcción, circunstancias inusuales que se presenten en la edificación de estudio.

Para el caso de estudio se ha mencionado como comentario el adosamiento que presenta la estructura (ver Figura 82).

### Figura 82

*Datos complementarios del Formulario "Nivel 1" de la FEMA P-154. a) Bloque G, b) Bloque H.*

<b>Riesgos Geológicos:</b> Licuefacción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/> Deslizamientos: Si <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/> Rup. Superf.: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>	
<b>Adyacencia:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Golpes <input type="checkbox"/> Peligro de Caída del Edificio Adyacente	
<b>Irregularidad:</b> <input type="checkbox"/> Vertical (tipo/severidad) Ninguna	
<input checked="" type="checkbox"/> Planta (tipo) <u>Planta tipo L</u>	
<b>Peligros:</b> <input type="checkbox"/> Chimeneas sin soporte lateral <input type="checkbox"/> Revestimiento pesado o enchapado de madera pesada	
<b>Caída de Exterior:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Apéndices	
<input type="checkbox"/> Otros:	
<b>COMENTARIOS:</b> La estructura presenta un adosamiento con la estructura continua, cumple con la separación mínima establecida para este tipo de estructura en zona sísmica alta que son más de 2 pulgadas. Presenta una irregularidad en planta.	
<input type="checkbox"/> Dibujos Adicionales o comentarios en pagina separada.	

(a)

<b>Riesgos Geológicos:</b> Licuefacción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/> Deslizamientos: Si <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/> Rup. Superf.: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>	
<b>Adyacencia:</b> <input type="checkbox"/> Golpes <input type="checkbox"/> Peligro de Caída del Edificio Adyacente	
<b>Irregularidad:</b> <input type="checkbox"/> Vertical (tipo/severidad) Ninguna	
<input checked="" type="checkbox"/> Planta (tipo) <u>Planta tipo L</u>	
<b>Peligros:</b> <input type="checkbox"/> Chimeneas sin soporte lateral <input type="checkbox"/> Revestimiento pesado o enchapado de madera pesada	
<b>Caída de Exterior:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Parapetos <input type="checkbox"/> Apéndices	
<input type="checkbox"/> Otros:	
<b>COMENTARIOS:</b> La estructura presenta un adosamiento a la estructura continua, el cual cumple con la separación mínima establecida para este tipo de estructuras en zonas sísmicas que debe ser mayor a 2 pulgadas.	
<input type="checkbox"/> Dibujos Adicionales o comentarios en pagina separada.	

(b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

### Identificación del sistema estructural

La evaluación visual rápida de la vulnerabilidad ante un evento sísmico, recomendada por el código FEMA P-154 de, asume que los evaluadores tienen las habilidades técnicas y, en particular, el conocimiento necesario para determinar el sistema estructural del edificio en estudio. En el caso de los edificios, el sótano es el

lugar más adecuado para lograr un sistema estructural. Si por alguna razón no es posible determinar el tipo de sistema estructural y el edificio no es accesible, el evaluador debe eliminar los sistemas estructurales que no son posibles para la estructura en consideración y proporcionar las opciones viables restantes. La puntuación final del índice de vulnerabilidad, S, es el valor más bajo de los índices derivados de los posibles sistemas estructurales. El código P-154 de FEMA son diecisiete (17) tipos diferentes de sistemas estructurales, como se muestra en la Tabla 50 con sus respectivos códigos (FEMA P-154, 2015).

**Tabla 50**

*Tipos de sistema estructural*

<b>Tipo</b>	<b>Abreviatura</b>
Viviendas unifamiliares o multifamiliares con estructura de madera clara de uno o más pisos de altura	W1
Edificios residenciales de varios pisos y unidades múltiples con estructura de madera clara con áreas planas en cada piso de más de 3,000 pies cuadrados	W1A
Edificios comerciales e industriales con estructura de madera con un área de piso mayor a 5,000 pies cuadrados	W2
Edificios con estructura de acero resistente a momentos	S1
Edificios con estructura de acero reforzado	S2
Edificios de metal ligero	S3
Edificios de estructura de acero con muros de corte de hormigón moldeado in situ	S4
Edificios con estructura de acero con muros de relleno de mampostería no reforzada	S5

<b>Tipo</b>	<b>Abreviatura</b>
Edificios de estructura de hormigón resistente a momentos	C1
Edificios de muro de corte de hormigón	C2
Edificios de estructura de hormigón con muros de relleno de mampostería no reforzada	C3
Edificios abatibles	PC1
Edificios de estructura de hormigón prefabricado	PC2
Edificios de mampostería reforzada con diafragmas de piso y techo flexibles	RM1
Edificios de mampostería reforzada con piso rígido y diafragmas de techo	RM2
Edificios con muros de carga de mampostería no reforzada	URM
Vivienda prefabricada	MH

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

Realizando el análisis de los diferentes tipos de sistemas estructurales a partir de la Tabla 50 se deduce que las dos edificaciones de estudio entran en la categoría de S5. Se logra observar que algunos sistemas estructurales son poco comunes en el Ecuador, esto se evidencia porque la metodología FEMA P-154 fue diseñada en base a la realidad estructural de los Estados Unidos.

### **Modificadores**

Los reguladores son el principal factor que influye en gran medida en el rendimiento del edificio en estudio. Cada una de estas tasas tiene un valor y depende del tipo de su estructura y de sus condiciones estructurales. Si el modificador no aplica a un tipo particular de sistema esquelético, el valor indicado por NA indica que no aplica

(FEMA P-154, 2015). Luego, en la Figura 81, se presentan las clasificaciones de cada modificador utilizado en las clasificaciones de brecha sísmica del Bloque A y luego se documentan las clasificaciones aprobadas.

**Figura 83**

*Selección de modificadores. a) Bloque G, b) Bloque H.*

NOTA DE BASE, MODIFICADORES, Y ULTIMA PUNTUACIÓN NIVEL 1, SL1																		
FEMA TIPO DE EDIFICIO	No Sabemos	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URMIN F)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMI NF)	PC1 (TV)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Puntaje Basico		2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad Vertical Grave, VL 1		-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Irregularidad de planta, PL1		-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-Codigo		-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Posterior-año de Referencia		1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo Tipo A o B		0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo Tipo E(1-3 Pisos)		0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo Tipo E(>3 Pisos)		-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
Puntaje Mínimo $S_{MIN}$		0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0
FINAL PUNTAJE NIVEL 1, $SL1 \geq S_{MIN}$										SL1=0.80			SL1>Smin		0.8>0.5			

a)

NOTA DE BASE, MODIFICADORES, Y ULTIMA PUNTUACIÓN NIVEL 1, SL1																		
FEMA TIPO DE EDIFICIO	No Sabemos	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URMIN F)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URMI NF)	PC1 (TV)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Puntaje Basico		2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad Vertical Grave, VL 1		-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1		-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Irregularidad de planta, PL1		-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-Codigo		-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Posterior-año de Referencia		1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo Tipo A o B		0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo Tipo E(1-3 Pisos)		0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo Tipo E(>3 Pisos)		-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
Puntaje Mínimo $S_{MIN}$		0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0
FINAL PUNTAJE NIVEL 1, $SL1 \geq S_{MIN}$										SL1=0,8 $\geq$ 0,5								

b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

### **Modificador por tipo de estructura**

El valor es el puntaje básico y es propio para cada tipo de sistema estructural, para las edificaciones de estudio, este modificador adopta el valor de 1,2.

### ***Modificadores por irregularidades estructurales***

Con respecto al análisis en elevación para los Bloques G y H, no presenta ningún tipo de irregularidad estructural, debido a esto no se considera el valor de este modificador en la sumatoria final. A diferencia del análisis en elevación, el análisis en planta presenta una irregularidad “tipo L”, adoptando un valor de -0,4.

### ***Modificadores por código de la construcción***

Este modificador examina la efectividad de las recomendaciones de diseño estructural sísmico hechas por varios estándares de construcción aplicados a lo largo de la historia en los Estados Unidos, dividiendo el modificador en dos valores posibles, cuya elección depende de si las especificaciones utilizadas en el diseño y construcción del edificio bajo consideración proporcionar orientación sísmica adecuada al tipo de sistema estructural ubicado en el edificio que se está evaluando. Estos modificadores castigan a los edificios más antiguos debido a las malas recomendaciones hechas para el diseño sísmico según las normas de construcción de la época. El impacto de estas modificaciones en el sistema estructural tipo S5 es nula, sin embargo, lo correcto es extrapolar esta división del código estadounidense al código de construcción utilizado a lo largo de la historia en el Ecuador, tal como se describe en la metodología NEC-2015.

### ***Modificador por tipo de suelo***

Este modificador presenta tres posibles escenarios para considerar un valor para la estructura, cada escenario está descrito individualmente en el texto Handbook de la metodología FEMA P-154. Para el caso de estudio de los dos Bloques este modificador no adopta ningún valor, ya que no se penaliza ni se bonifica, por la existencia de suelo tipo D en las dos edificaciones.

### **Puntaje final, $S$ , puntaje mínimo, $S_{mín}$ , y Grado de vulnerabilidad sísmica**

El puntaje estructural final,  $S$ , de un edificio se determina sumando y/o restando valores de tasa. Luego de obtener una calificación final  $S$ , el evaluador debe comparar este índice con el valor mínimo recomendado por el código para cada tipo de sistema estructural. Evaluación final. Una vez determinado el índice de vulnerabilidad, el evaluador se enfrenta a la tarea de interpretar su valor y determinar la vulnerabilidad de la estructura a partir de esta escala. Si  $S$  es menor que 2, será una estructura muy débil y necesitará una evaluación especial por parte de un ingeniero de diseño estructural profesional. Una puntuación de  $S = 2$  indica una probabilidad de 1 en 100 de que un edificio se derrumbe (FEMA P-154, 2015). El puntaje final obtenido por el Bloque G y H, y su interpretación,  $SL1 = 0,8$   $SL1 > SL_{min}$ ;  $SL_{min} = 0,5$ .

### **Alcance de la revisión**

En este apartado se indica si se tuvo accesibilidad durante la evaluación, sea al interior como al exterior de la estructura. Esto debido a que en algunos casos durante la evaluación se presentan percances para lograr el ingreso; sea por limitaciones por personal de seguridad del edificio, o el propietario, también por temas de carácter geográfico. Adicional, en esta sección se ingresa información acerca de la fuente de donde se obtuvo el tipo de suelo de la zona y del peligro geológico, también la persona de contacto que conozca el proceso de la encuesta.

**Figura 84**

*Alcance de la revisión. a) Bloque G, b) Bloque H.*

<p>Alcance de Control</p> <p>Exterior: <input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos los lados <input type="checkbox"/> Aereo</p> <p>Interior: <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Visible</p> <p>Dibujo comentado: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p> <p>Tipo de fuente de Suelo: <u>Ensayo Sísmica de Refracción</u></p> <p>Tipo de fuente peligro Geologico: <u>NEC-SE-DS (2015)</u></p> <p>Persona de Contacto <u>Ing. Pablo Caiza Ph.D.</u></p>	<p>Alcance de Control</p> <p>Exterior: <input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos los lados <input type="checkbox"/> Aereo</p> <p>Interior: <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Visible <input type="checkbox"/></p> <p>Dibujo comentado: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p> <p>Tipo de fuente de Suelo: <u>Ensayo de Refracción Sísmica</u></p> <p>Tipo de fuente peligro Geologico: <u>NEC-SE-DS (2015)</u></p> <p>Persona de Contacto <u>Ing. Pablo Caiza Ph.D.</u></p>
--	---

a)

b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

**Resultados del Informe Nivel 2**

Este formulario es carácter opcional, el proceso de llenado y lineamientos se llevan a cabo en base a la información del Formulario Nivel 1. Si se realiza este informe se tendrá el deber de exportar el resultado al Formulario Nivel 1, como se muestra en la Figura 85. En las dos edificaciones de estudio si se realizó la evaluación del Formulario Nivel 2 y su correspondiente interpretación.

**Figura 85**

*Alcance de la revisión. a) Bloque G, b) Bloque H.*

<p>INSPECCIÓN DEL NIVEL 2 REALIZADA ?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Si, Final puntuación Nivel 2, Sl2 <u>0.7</u> <input type="checkbox"/> No</p> <p>Peligros No estructurales: <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No</p>	<p>INSPECCIÓN DEL NIVEL 2 REALIZADA ?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Si, Final puntuación Nivel 2, Sl2 <u>0,7</u> <input type="checkbox"/> No</p> <p>Peligros No estructurales: <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No</p>
---	---

a)

b)

*Nota:* Recuperado de (FEMA P-154, 2015)

**Otros peligros**

La metodología FEMA P-154 incorpora parcialmente, en el formato de Nivel 1 como de Nivel 2, la presencia de peligros sísmicos potenciales que ocurren de manera diferente en el edificio considerado (ver Figura 86). En el caso de los dos edificios, el

único riesgo adicional se relaciona con el mayor potencial de golpeteo por estar adyacente al bloque central al que se une.

### Figura 86

Otros peligros. a) Bloque G, b) Bloque H.

<p><b>OTROS RIESGOS</b></p> <p>¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Golpeado potencial (a menos SL2 &gt; línea de cortesi se conoce)</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgo de caída de mas edificios altos adyacentes</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgos Geologicos o Tipo de Suelo</p> <p><input type="checkbox"/> daños significativos / deterioro al sistema estructural.</p>	<p><b>OTROS RIESGOS</b></p> <p>¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Golpeado potencial (a menos SL2 &gt; línea de cortesi se conoce)</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgo de caída de mas edificios altos adyacentes</p> <p><input type="checkbox"/> Riesgos Geologicos o Tipo de Suelo</p> <p><input type="checkbox"/> daños significativos / deterioro al sistema estructural.</p>
a)	b)

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

### Acciones requeridas

La sección final del formulario de Nivel 1 le permite al evaluador elegir las posibles acciones a tomar después de completar la evaluación. Además, estas acciones están directamente relacionadas con los resultados de la evaluación y la información registrada en el formulario.

Figura 87

Acciones requeridas. a) Bloque G, b) Bloque H.

<p><b>ACCION REQUERIDA</b></p> <p><b>Evaluación detallada estructural requerida?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Si, tipo de edificio desconoce Fema u otro edificio.</p> <p><input type="checkbox"/> Si, el resultado da menos que el de corte</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Si, si presentan otros peligros.</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p><b>Evaluación detallada no estructural recomendada?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Si, los peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que pueden requerir la mitigación, sino una evaluación detallada no es necesaria</p> <p><input type="checkbox"/> No, no hay peligros no estructurales identificados. No sé</p>	<p><b>ACCION REQUERIDA</b></p> <p><b>Evaluación detallada estructural requerida?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Si, tipo de edificio desconoce Fema u otro edificio.</p> <p><input type="checkbox"/> Si, el resultado da menos que el de corte</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Si, si presentan otros peligros.</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p><b>Evaluación detallada no estructural recomendada?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Si, los peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que pueden requerir la mitigación, sino una evaluación detallada no es necesaria</p> <p><input type="checkbox"/> No, no hay peligros no estructurales identificados. No sé</p>
---	---

a)

b)

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

### Registro de datos en formulario Nivel 2

El Formulario Nivel 2, en la información que recolecta es de la misma equivalencia del Formulario Nivel 1, por esta razón su realización es opcional. Los diferentes componentes y modificadores de la evaluación son de más sintetizados.

Este formulario se llenará de la misma manera que el Formulario Nivel 1, se inicia con el reajuste de la calificación del primer formulario, esto lleva al papel de las calificaciones básicas en este nuevo formato.

El nuevo formato para registro de información, permite realizar otro tipo de evaluación según otros parámetros tanto en irregularidad vertical y horizontal. El primer parámetro a evaluar es la irregularidad vertical y a diferencia al formulario del Nivel 1 este presenta casos específicos de irregularidad que pueden afectar la estructura. Las edificaciones de estudio al no contar con irregularidades verticales dejamos esa sección con un valor de cero.

Figura 88

Formulario Nivel 2 – Parte 1. a) Bloque G, b) Bloque H.

Exploración rápida visual de los edificios de posibles riesgos sísmicos.		Nivel 2 (Opcional)		
FEMA P-154 Formulario de Recolección de Datos.		Muy alta sismicidad		
La recopilación de datos de nivel 2 opcional al ser realizado por un profesional de la ingeniería civil o estructurales, un arquitecto o un estudiante graduado con experiencia en la evaluación y el diseño de edificios sísmicos.				
Nombre edificio: <b>Bloque G</b>	Puntaje Final Nivel 1: $S_{L1} = 0.8$	(no se considera $S_{M(N)}$ )		
Inspector: <b>Loya C., Nacimba P.</b>	Modificadores de Irregularidad Nivel 1: Vertical Irregularity, $V_{L1} = 0.0$	Irregularidad planta, $P_{L1} = -0.4$		
Fecha/Hora: <b>05 de Julio 2022</b>	PUNTAJE BASE AJUSTADO: $S = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) = 1.2$			
MODIFICADORES ESTRUCTURAL PARA AGREGAR A LA PUNTAJACIÓN DE REFERENCIA AJUSTADA				
Tema	Declaración (Si la declaración es verdad, encierre el modificador en un círculo el "SI", sino tachar el modificador)	Si	Subtotales	
Irregularidad Vertical, $V_{L2}$	Pendiente en sitio	Edificio W1: Hay por lo menos un completo cambio de grado de piso desde el lado del edificio al otro.	-0.9	-0.9
		No Edificio W1: Hay por lo menos un completo cambio de grado de piso desde el lado del edificio al otro.	-0.2	
Piso debil Y/o blando (maximo encierre en un círculo)	Edificio W1 pared baja: Una pared baja sin refuerzo es visible en el espacio de rastreo		-0.5	
	W1 casa de garaje: Debajo de un piso que ocupa, hay una apertura de garaje sin un marco de acero y de momento hay menos de 20 cm de pared en la misma línea (para múltiples pisos ocupados anteriormente, utilizar 40 cm mínimo de pared).		-0.5	
Caldas	W1 Un edificio abierto de frente: Hay aberturas en el suelo de los pisos (como para el estacionamiento) en por lo menos 50% de la longitud del edificio.		-0.5	
	No edificio W1: Longitud del sistema lateral en cualquier piso es menor que 50% del piso superior o la altura de cualquier piso es mas de dos veces la altura del piso superior.		-0.7	
	No edificio W1: Longitud del sistema lateral en cualquier piso es entre el 50% y el 75% de los del piso superior o la altura de cualquier piso es entre 1.3 y 2.0 veces la altura del piso superior.		-0.5	
Columna/Pilar Corta	Elementos verticales del sistema lateral en un piso superior están por fuera de los del piso de abajo haciendo el desplazamiento en el diafragma a voladizo.		-0.7	
	Elementos verticales del sistema lateral en plantas superiores estan por dentro de los que estan en pisos inferiores.		-0.5	
Dividido	Hay un desplazamiento de los elementos laterales que es mayor que la longitud de los elementos en el plano.		-0.2	
	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: Al menos 20% de columnas (o pilares) a lo largo del eje de la columna en el sistema lateral tienen relaciones altura/ancho de menos de 50% de la relación altura/ancho nominal a ese nivel.		-0.4	
Otras	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: El ancho de la columna (o ancho de pilar) es menos de la mitad del ancho de la enjuta o hay paredes adyacentes o suelos de relleno que acortan la columna.		-0.4	
	Hay un nivel de división en uno de los niveles de piso o en el techo		-0.4	
Irregularidad	Hay otra irregularidad grave vertical observable que obviamente afecta el comportamiento sísmico del edificio		-0.7	
	Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar al comportamiento sísmico del edificio.		-0.4	
			$V_{L2} = 0.0$ (Cap at -1.2)	

a)

Exploración rápida visual de los edificios de posibles riesgos sísmicos.		Nivel 2 (Opcional)	
FEMA P-154 Formulario de Recolección de Datos.		Muy alta sismicidad	
La recopilación de datos de nivel 2 opcional al ser realizado por un profesional de la ingeniería civil o estructurales, un arquitecto o un estudiante graduado con experiencia en la evaluación y el diseño de edificios sísmicos.			
Nombre edificio: <b>Bloque H</b>	Puntaje Final Nivel 1: $S_{L1} = 0.8$	(no se considera $S_{M(N)}$ )	
Inspector: <b>Guama E/Páez C</b>	Modificadores de Irregularidad Nivel 1: Vertical Irregularity, $V_{L1} = 0.0$	Irregularidad planta, $P_{L1} = -0.4$	
Fecha/Hora: <b>04/07/2021</b>	PUNTAJE BASE AJUSTADO: $S = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) = 1.2$		
MODIFICADORES ESTRUCTURAL PARA AGREGAR A LA PUNTAJACIÓN DE REFERENCIA AJUSTADA			
Tema	Declaración (Si la declaración es verdad, encierre el modificador en un círculo el "SI", sino tachar el modificador)	Si	Subtotales
Irregularidad Vertical, $V_{L2}$	Pendiente en sitio	Edificio W1: Hay por lo menos un completo cambio de grado de piso desde el lado del edificio al otro.	-0.9
		No Edificio W1: Hay por lo menos un completo cambio de grado de piso desde el lado del edificio al otro.	-0.2
Piso debil Y/o blando (maximo encierre en un círculo)	Edificio W1 pared baja: Una pared baja sin refuerzo es visible en el espacio de rastreo		-0.5
	W1 casa de garaje: Debajo de un piso que ocupa, hay una apertura de garaje sin un marco de acero y de momento hay menos de 20 cm de pared en la misma línea (para múltiples pisos ocupados anteriormente, utilizar 40 cm mínimo de pared).		-0.5
Caldas	W1 Un edificio abierto de frente: Hay aberturas en el suelo de los pisos (como para el estacionamiento) en por lo menos 50% de la longitud del edificio.		-0.5
	No edificio W1: Longitud del sistema lateral en cualquier piso es menor que 50% del piso superior o la altura de cualquier piso es mas de dos veces la altura del piso superior.		-0.7
	No edificio W1: Longitud del sistema lateral en cualquier piso es entre el 50% y el 75% de los del piso superior o la altura de cualquier piso es entre 1.3 y 2.0 veces la altura del piso superior.		-0.5
Columna/Pilar Corta	Elementos verticales del sistema lateral en un piso superior están por fuera de los del piso de abajo haciendo el desplazamiento en el diafragma a voladizo.		-0.7
	Elementos verticales del sistema lateral en plantas superiores estan por dentro de los que estan en pisos inferiores.		-0.5
Dividido	Hay un desplazamiento de los elementos laterales que es mayor que la longitud de los elementos en el plano.		-0.2
	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: Al menos 20% de columnas (o pilares) a lo largo del eje de la columna en el sistema lateral tienen relaciones altura/ancho de menos de 50% de la relación altura/ancho nominal a ese nivel.		-0.4
Otras	C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: El ancho de la columna (o ancho de pilar) es menos de la mitad del ancho de la enjuta o hay paredes adyacentes o suelos de relleno que acortan la columna.		-0.4
	Hay un nivel de división en uno de los niveles de piso o en el techo		-0.4
Irregularidad	Hay otra irregularidad grave vertical observable que obviamente afecta el comportamiento sísmico del edificio		-0.7
	Hay otra irregularidad vertical moderada observable que puede afectar al comportamiento sísmico del edificio.		-0.4
			$V_{L2} = 0.0$ (Cap at -1.2)

b)

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

La siguiente sección permite evaluar las irregularidades en planta. Al ser los Bloques G y H un edificio con irregularidad en la planta de tipo L tiene en este caso una reducción de  $P_{L2} = -0.5$  al puntaje base. Adicional se presentan más consideraciones de irregularidad que no constan en el listado que propone la FEMA P-154, al no aplicar

ninguna de estas características en las edificaciones de estudio se coloca que tiene un valor de cero.

**Figura 89**

Formulario Nivel 2 – Parte 2. a) Bloque G, b) Bloque H.

Irregularidad Planta, PL2	Sistema lateral no aparece relativamente bien distribuida en planta en cualquiera o ambas direcciones. (No incluya la irregularidad frente abierto WIA enumerados anteriormente).		-0,5	PL2 = -0,5 (Cap at -1,1)
	Sistema no paralelo: Hay uno o más principales elementos verticales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.		-0,2	
	Esquina reentrante. Ambas proyecciones, desde la esquina interior superen el 25% de la dimensión global del plan en esa dirección.		-0,2	
	Abertura de diafragma. Hay una abertura en el diafragma con una anchura de más de 50% del total al ancho de diafragma en ese nivel.		-0,2	
	Edificio C1,C2 desplazado fuera del plano: Las vigas exteriores no se alinean con las columnas en el plano.		-0,2	
	Otra irregularidad. Hay otra irregularidad plana observable que obviamente afecta al comportamiento sísmico de los edificios.		-0,5	
Exceso	El edificio tiene al menos dos tramos de elementos laterales en cada lado del edificio en cada dirección.		0,	
Golpeando	El edificio se separa de una estructura adyacente en menos del 1% de la altura de la mas corta del edificio y estructura adyacente y:	Las plantas no se alinean verticalmente dentro de 60 cm	(Cap total -0,	
		Un edificio es de 2 o más pisos más alto que el otro. golpeteo	-0,	
		El edificio se encuentra al final del bloque. modificadores de -1.2	-0,	
Edificio S2	"K" geometría de arriostamiento es visible		-0,7	
Edificio C1	Placa plana sirve como la viga en el marco de momento.		-0,3	
Edificio PC1/RM1	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending (Do not combine with post - benchmark or retrofit modifier)		0,2	
PC1/RM1 Bldg	El edificio tiene espacios estrechos, alturas llenas de las paredes interiores(en lugar de un espacio interior con algunas paredes interiores como en un almacén)		0,2	
URM	Gabletes de paredes estan presentes.		-0,3	
MH	Hay un sistema de soporte sísmico suplementario proporcionado entre el carro y el suelo.		0,5	M= 0,0
Reequipamien	Reforzamiento sísmico integral es visible o conocido a partir de dibujos		0,2	
<b>PUNTUACIÓN FINAL NIVEL 2, SL2= (S + VL2 + PL2 + M) ≥ SMIN: SL2=1.2-0.5=0.7≥SMIN</b>			<b>(Trasladado al formulario del n</b>	
Hay un daño o deterioro observable u otra condición que afecta negativamente al comportamiento sísmico del edificio:			<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	
En caso afirmativo, describir la condición en el cuadro de comentarios a continuación e indicar en el formulario de nivel 1 que la evaluación detallada se requiere anotar independiente de los edificios				

a)

Irregularidad Planta, PL2	Sistema lateral no aparece relativamente bien distribuida en planta en cualquiera o ambas direcciones. (No incluya la irregularidad frente abierto WIA enumerados anteriormente).		-0,5	PL2 = -0,5 (Cap at -1,1)
	Sistema no paralelo: Hay uno o más principales elementos verticales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.		-0,2	
	Esquina reentrante. Ambas proyecciones, desde la esquina interior superen el 25% de la dimensión global del plan en esa dirección.		-0,2	
	Abertura de diafragma. Hay una abertura en el diafragma con una anchura de más de 50% del total al ancho de diafragma en ese nivel.		-0,2	
	Edificio C1,C2 desplazado fuera del plano: Las vigas exteriores no se alinean con las columnas en el plano.		-0,2	
	Otra irregularidad. Hay otra irregularidad plana observable que obviamente afecta al comportamiento sísmico de los edificios.		-0,5	
Exceso	El edificio tiene al menos dos tramos de elementos laterales en cada lado del edificio en cada dirección.		0,	
Golpeando	El edificio se separa de una estructura adyacente en menos del 1% de la altura de la mas corta del edificio y estructura adyacente y:	Las plantas no se alinean verticalmente dentro de 60 cm	(Cap total -0,	
		Un edificio es de 2 o más pisos más alto que el otro. golpeteo	-0,	
		El edificio se encuentra al final del bloque. modificadores de -1.2	-0,	
Edificio S2	"K" geometría de arriostamiento es visible		-0,7	
Edificio C1	Placa plana sirve como la viga en el marco de momento.		-0,3	
Edificio PC1/RM1	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending (Do not combine with post - benchmark or retrofit modifier)		0,2	
PC1/RM1 Bldg	El edificio tiene espacios estrechos, alturas llenas de las paredes interiores(en lugar de un espacio interior con algunas paredes interiores como en un almacén)		0,2	
URM	Gabletes de paredes estan presentes.		-0,3	
MH	Hay un sistema de soporte sísmico suplementario proporcionado entre el carro y el suelo.		0,5	M= 0,0
Reequipamien	Reforzamiento sísmico integral es visible o conocido a partir de dibujos		0,2	
<b>PUNTUACIÓN FINAL NIVEL 2, SL2= (S + VL2 + PL2 + M) ≥ SMIN: 1.2-0.5=0.7&gt;0,5</b>			<b>(Trasladado al formulario del n</b>	
Hay un daño o deterioro observable u otra condición que afecta negativamente al comportamiento sísmico del edificio:			<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	
En caso afirmativo, describir la condición en el cuadro de comentarios a continuación e indicar en el formulario de nivel 1 que la evaluación detallada se requiere anotar independiente de los edificios				

b)

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

Al final del Formulario Nivel 2, se encuentra una sección para considerar los riesgos no estructurales, también una parte para agregar comentarios y una para rendimiento sísmico (ver Figura 90). Una vez completo el formulario, el valor obtenido se debe exportar al Formulario Nivel 1, para cumplir de manera correcta el proceso.

Figura 90

Formulario Nivel 2 – Parte 3. a) Bloque G, b) Bloque H.

PELIGROS NO ESTRUCTURALES OBSERVABLES				
Ubicación	Declaración (Marque "Sí" o "No")	Sí	No	Comentario
Exterior	Hay un parapeto de mampostería no reforzada no arriostrado o chimenea de mampostería no reforzada no arriostrado	X		Antepechos
	Hay revestimiento pesado o enchapado pesado.		X	
	Hay una gran cubierta sobre las puertas de salida o pasarelas de peatones que parece apoyado de manera adecuada.		X	
	Hay un accesorio de mampostería no reforzada sobre las puertas de salida o zonas peatonales.		X	
	Hay un letrero en el edificio que indica los materiales peligrosos están presentes.		X	
	Hay un edificio URM adyacente más alto con una pared no anclada o parapeto URM no arriostrado o chimenea		X	
	Otros riesgos de caída exterior no estructural observado:		X	
Interior	Hay teja de barro o ladrillo hueco particiones en cualquier escalera o salida pasillo.		X	
	Otros peligros no estructurales interiores que caen observados.	X		Cielo Razo deteriorado.
Rendimiento sísmico estimado para no estructural (Marque la casilla apropiada y traslado al Nivel 1 del formulario conclusiones)				
<input type="checkbox"/> Peligros no estructurales potenciales con amenaza significativa para la seguridad de la vida del inquilino - Detallado no estructural evaluación recomendada <input type="checkbox"/> Peligros no estructurales identificados con amenaza significativa para la seguridad de la vida de los ocupantes - Detallado no estructural evaluación necesaria. <input checked="" type="checkbox"/> Baja o ninguna amenaza de peligro estructural de seguridad de la vida del ocupante- Detallado no estructural No se requiere evaluación				
Comentarios: A1 ser una edificación construida hace 12 años (relativamente actual), todavía no se presenta riesgos, que indiquen una intervención de algún reforzamiento en la estructura.				

a)

PELIGROS NO ESTRUCTURALES OBSERVABLES				
Ubicación	Declaración (Marque "Sí" o "No")	Sí	No	Comentario
Exterior	Hay un parapeto de mampostería no reforzada no arriostrado o chimenea de mampostería no reforzada no arriostrado	X		Antepechos
	Hay revestimiento pesado o enchapado pesado.		X	
	Hay una gran cubierta sobre las puertas de salida o pasarelas de peatones que parece apoyado de manera adecuada.		X	
	Hay un accesorio de mampostería no reforzada sobre las puertas de salida o zonas peatonales.		X	
	Hay un letrero en el edificio que indica los materiales peligrosos están presentes.		X	
	Hay un edificio URM adyacente más alto con una pared no anclada o parapeto URM no arriostrado o chimenea		X	
	Otros riesgos de caída exterior no estructural observado:		X	
Interior	Hay teja de barro o ladrillo hueco particiones en cualquier escalera o salida pasillo.		X	
	Otros peligros no estructurales interiores que caen observados.		X	
Rendimiento sísmico estimado para no estructural (Marque la casilla apropiada y traslado al Nivel 1 del formulario conclusiones)				
<input type="checkbox"/> Peligros no estructurales potenciales con amenaza significativa para la seguridad de la vida del inquilino - Detallado no estructural evaluación recomendada <input checked="" type="checkbox"/> Peligros no estructurales identificados con amenaza significativa para la seguridad de la vida de los ocupantes - Detallado no estructural evaluación necesaria. <input type="checkbox"/> Baja o ninguna amenaza de peligro estructural de seguridad de la vida del ocupante- Detallado no estructural No se requiere evaluación				
Comentarios: A1 ser una edificación construida hace 12 años, no ha presentado riesgos que indiquen la necesidad de alguna intervención de algún tipo de reforzamiento.				

b)

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

### Resultados

El índice de vulnerabilidad que presenta el Bloque G, aplicando la metodología FEMA P-154 para la evaluación de su vulnerabilidad estructural, es de 0.7 en el Formulario Nivel 2, mientras que en el Formulario correspondiente al Nivel 1 es de 0,8. Comparando el índice de vulnerabilidad obtenido con los límites recomendados para la categorización de la vulnerabilidad sísmica de una edificación dados por FEMA P-154, se tiene que el Bloque G presenta una “alta vulnerabilidad y requiere una evaluación más detallada”, el requerimiento de una evaluación más detallada hace referencia a un

estudio cuantitativo de la respuesta dinámica de la estructura ante la ocurrencia de un evento telúrico, y a través de los resultados de este estudio tomar las acciones pertinentes, siempre adoptando una postura conservadora con el fin de tratar de mitigar y reducir, en lo máximo posible, los daños ocasionados por fenómenos naturales de esta tipología.

**Tabla 51**

*Tipos de sistema estructural*

<b>Edificio</b>	<b>Puntaje S Formulario Nivel 1</b>	<b>Puntaje S Formulario Nivel 2</b>	<b>Grado de vulnerabilidad sísmica</b>	<b>Observación</b>
Bloque G	0,8	0,7	alta vulnerabilidad y requieren una evaluación especial	$S > 2$ , Irregularidad en planta
Bloque H	0,8	0,7	alta vulnerabilidad y requieren una evaluación especial	$S > 2$ , Irregularidad en planta.

### **Observaciones**

Este apartado indica todas las observaciones con respecto a la metodología FEMA P-154 para la evaluación de la vulnerabilidad estructural.

No es laboriosa y requiere un tiempo aproximado de 2h para saber la condición en que se encuentra la estructura evaluada. El costo de una evaluación rápida es bajo en comparación con metodologías detalladas.

Es una metodología que proporciona la evaluación de la seguridad sísmica de una gran cantidad de edificios de forma rápida y económica.

La ventaja de este método es que para realizar la evaluación no es necesario realizar constantes visitas a la edificación, es posible realizar con los datos adquiridos como la localización, número de pisos, uso de la edificación el área y la foto de la edificación

Esta metodología puede ser empleada en cualquier tipo de edificación y en cualquier lugar, como pudimos observar existen muchas investigaciones del uso del método FEMA – 154 en muchos países.

Los tipos de sistemas estructurales propuestos por la metodología FEMA P-154 son propios de los Estados Unidos. Se debe considerar que en el momento que el evaluador trata de catalogar una edificación del Ecuador tomando como base esta clasificación, se estaría asumiendo que el Ecuador tiene un panorama técnico-constructivo similar al de los Estados Unidos, lo cual claramente no es correcto. Ante este escenario adverso, el proceder correcto sería adaptar los valores de los diferentes modificadores castigándolos o bonificándolos según sea el caso, con el fin de aumentar el nivel de aplicabilidad y asertividad de la metodología FEMA P-154 en Ecuador.

El criterio de inspección y evaluación de las estructuras depende o está en función de la experiencia del ingeniero evaluador. En algunas ocasiones no es suficiente una evaluación rápida, se necesitará una evaluación detallada.

Esta metodología es muy conservadora, por lo cual tiene la desventaja de que puede ser demasiado conservador y la puntuación asignada puede indicar que el edificio posee un riesgo mayor de la que tiene.

## **Metodología FUNVISIS**

La metodología FUNVISIS es otro método de evaluación estructural que serán aplicados a los Bloque G y H de aulas, en esta sección se presenta paso a paso la manera de evaluar con esta metodología.

FUNVISIS se trata de la guía de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, la cual se basa en realizar cálculos de índices de priorización para edificaciones que se encuentren en zonas de peligrosidad sísmica, relacionándose con la de esta manera se podrá identificar las edificaciones más críticas para dar paso a una fase de estudio más detallado. Para emplear la metodología se hizo uso de la última edición, publicada en enero del 2014.

Al ser una metodología usada en Venezuela, para poder aplicar esta metodología en estructuras nacionales se realizaron algunas adaptaciones para que sea asertivo con el entorno técnico del Ecuador, considerando algunos parámetros obtenidos de la normativa NEC-15 utilizada en Ecuador.

### **Descripción**

La metodología FUNVISIS nos propone el uso de un formulario (ver Figuras 88 y 89). Esta metodología nos permite evaluar la edificación de manera cualitativa de manera rápida y completa. Con la información recopilada podemos llenar el formulario el cual nos pide información básica de la estructura los cuales son visibles. Una vez completo el formulario el evaluador deberá interpretar y calcular los índices para determinar el índice de priorización de la estructura.

Esta manera de evaluación que nos propone la metodología FUNVISIS es de manera cualitativa, una vez calculados y obtenidos los índices de vulnerabilidad y priorización, el trabajo del evaluador será interpretar dichos índices para determinar en qué estado se encuentran las estructuras evaluadas.

Figura 91

Plantilla de inspección de edificaciones de conformidad con FUNVISIS

PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sismorresistentes)			
<b>1. Datos generales</b>			
1.1 Fecha:	1.2 Hora inicio:	1.3 Hora culminación:	1.4 Código: -
<b>2. Datos de los participantes</b>			
Función	Nombre y apellido	Teléfono	Correo electrónico
2.1 Inspector			
2.2 Revisor			
2.3 Supervisor			
<b>2. Datos del entrevistado</b>			
3.1 Relación con la Edif.	3.2 Nombre y apellido	3.3 Teléfono	3.4 Correo electrónico
<b>4. Identificación y ubicación de la edificación</b>			
4.1 Nombre o N°:	4.2 N° de pisos:	4.3 N° de semi-sótanos:	
4.4 N° de sótanos:	4.5 Estado:	4.6 Ciudad:	
4.7 Municipio:	4.8 Parroquia:	4.9 Urb., Barrio:	
4.10 Sector: -	4.11 Calle, vereda:	4.12 Pto. de Referencia:	
Proy. UTM (REGVEN)	4.13 Coord. X:	4.14 Coord. Y:	4.15 Huso: -
<b>5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones)</b>			
<input type="checkbox"/> Gubernamental	<input type="checkbox"/> Militar	<input type="checkbox"/> Médico-Asistencial	<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Otro (Especifique)
<input type="checkbox"/> Bomberos	<input type="checkbox"/> Vivienda Popular	<input type="checkbox"/> Educativo	<input type="checkbox"/> Comercial
<input type="checkbox"/> Protección Civil	<input type="checkbox"/> Vivienda Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Deportivo-Recreativo	<input type="checkbox"/> Oficina
<input type="checkbox"/> Policial	<input type="checkbox"/> Vivienda Multifamiliar	<input type="checkbox"/> Cultural	<input type="checkbox"/> Religioso
<b>6. Capacidad de ocupación (rellenar y marcar con "x", múltiples opciones)</b>			
6.1 Número de personas que ocupan el inmueble:		6.2 Ocupación durante: <input type="checkbox"/> Mañana <input type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> Noche	
<b>7. Año de construcción (rellenar y marcar con "x", una opción)</b>			
Año: <input type="checkbox"/> Antes de 1939 <input type="checkbox"/> Entre 1940 y 1947 <input type="checkbox"/> Entre 1948 y 1955 <input type="checkbox"/> Entre 1956 y 1967			
<input type="checkbox"/> Entre 1968 y 1982 <input type="checkbox"/> Entre 1983 y 1998 <input type="checkbox"/> Entre 1999 y 2001 <input type="checkbox"/> Después de 2001			
<b>8. Condición del terreno (marcar con "x", una opción por pregunta)</b>			
8.1 Edificación en: <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Base <input type="checkbox"/> Cima		8.2 Pendiente del terreno: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°	
8.6 Drenajes: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	
		8.4 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°	
		8.5 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> Menor a H del talud <input type="checkbox"/> Mayor a H del Talud	
<b>9. Tipo Estructural</b>			
9.1 Marque con "x", múltiples opciones:			
<input type="checkbox"/> 1. Pórticos de concreto armado	<input type="checkbox"/> 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	<input type="checkbox"/> 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	<input type="checkbox"/> 4. Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel)
<input type="checkbox"/> 5. Pórticos de acero	<input type="checkbox"/> 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares	<input type="checkbox"/> 7. Pórticos de acero diagonalizados	<input type="checkbox"/> 8. Pórticos de acero con cerchas
<input type="checkbox"/> 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o	<input type="checkbox"/> 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada.	<input type="checkbox"/> 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada.	<input type="checkbox"/> 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos
<input type="checkbox"/> 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de alta calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos.	<input type="checkbox"/> 14. Viviendas de bahareque de un piso	<input type="checkbox"/> 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	
9.2 Indique el número del tipo estructural predominante:			
<b>10. Esquema de planta (marcar con "x")</b>		<b>11. Esquema de elevación (marcar con "x")</b>	
<input type="checkbox"/> "H"	<input type="checkbox"/> "L"	<input type="checkbox"/> Esbeltez horizontal	<input type="checkbox"/> "T"
<input type="checkbox"/> "T"	<input type="checkbox"/> Cajón	<input type="checkbox"/> Ninguno	<input type="checkbox"/> Pirámide invertida
<input type="checkbox"/> "U" ó "C"	<input type="checkbox"/> Regular		<input type="checkbox"/> "U"
			<input type="checkbox"/> Esbeltez vertical
			<input type="checkbox"/> "L"
			<input type="checkbox"/> Ninguno
			<input type="checkbox"/> Piramidal
			<input type="checkbox"/> Rectangular

(a)

12. Irregularidades (marcar con "x", múltiples opciones)	
<input type="checkbox"/> 12.1 Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	<input type="checkbox"/> 12.7 Aberturas significativas en losas
<input type="checkbox"/> 12.2 Ausencia de muros en una dirección	<input type="checkbox"/> 12.8 Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta
<input type="checkbox"/> 12.3 Estructura frágil	<input type="checkbox"/> 12.9 Adosamiento: Losa contra losa
<input type="checkbox"/> 12.4 Presencia de al menos un entrepiso débil o blando	<input type="checkbox"/> 12.10 Adosamiento: Losa contra columna
<input type="checkbox"/> 12.5 Presencia de columnas cortas	<input type="checkbox"/> 12.11 Separación entre edificios (cm):
<input type="checkbox"/> 12.6 Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	
13. Grado de deterioro (marcar con "x", una opción por pregunta)	
13.1 Est. de Concreto: Agrietamiento en elementos estructurales y/o corrosión en acero de refuerzo:	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.2 Est. de Acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo:	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.3 Agrietamiento en paredes de relleno:	<input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.4 Estado general de mantenimiento:	<input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bajo
14. Observaciones	
14. Croquis de ubicación, fachada y planta	
Croquis de ubicación	Croquis de fachada
Croquis de planta	

(b)

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

### Registro de datos

En esta sección se presentará los datos que se obtuvieron de las dos edificaciones, tanto del bloque G y del bloque H. Para que quede claro, este formulario debe completarse durante la visita de campo, ya que está diseñado para permitir la introducción gradual de información de manera muy puntual, con un requisito mínimo por escrito.

**Datos generales:** En este campo se debe completar con la fecha y hora que se realizó la inspección.

**Datos de los participantes:** En este campo se debe completar con nombres y apellidos de los participantes de la inspección y sus respectivos números de teléfono y correos. Además, se toma en cuenta a la persona responsable quien en este caso haría la revisión de la aplicación de esta metodología y en caso de haber el nombre de un supervisor.

**Datos del entrevistado:** En este apartado se colocan los datos de algún entrevistado que tenga relación con la edificación, como una persona que estudie o trabaje ahí.

**Identificación y ubicación de la edificación:** En esta sección se coloca la ubicación, como calles, referencia y coordenadas de la edificación y como datos adicionales el nombre con que se identifica a la edificación y su número de pisos.

## Figura 92

Parte 1- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H

PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sismorresistentes)			
<b>1. Datos generales</b>			
1.1 Fecha:	12/7/2022	1.2 Hora inicio:	16:30
1.3 Hora culminación:	17:30	1.4 Código:	---
<b>2. Datos de los participantes</b>			
Función	Nombre y apellido	Teléfono	Correo electrónico
2.1 Inspector	Denisse Loya	0969010150	<a href="mailto:cdloya@espe.edu.ec">cdloya@espe.edu.ec</a>
	Paola Nacimba	0958815101	<a href="mailto:penacimba@espe.edu.ec">penacimba@espe.edu.ec</a>
2.2 Revisor	Ing. Pablo Caiza Ph.D.	0998809848	<a href="mailto:pecaiza1@espe.edu.ec">pecaiza1@espe.edu.ec</a>
2.3 Supervisor			
<b>2. Datos del entrevistado</b>			
3.1 Relación con la Edif.	3.2 Nombre y apellido	3.3 Teléfono	3.4 Correo electrónico
<b>4. Identificación y ubicación de la edificación</b>			
4.1 Nombre o N°:	Bloque G -Aulas	4.2 N° de pisos:	4
4.3 N° de semi-sótanos:	0	4.5 Estado:	---
4.4 N° de sótanos:	0	4.6 Ciudad:	Sangolquí
4.7 Municipio:	Rumiñahui	4.8 Parroquia:	Sangolquí
4.9 Urb., Barrio:	---	4.10 Sector:	UFA - ESPE
4.11 Calle, vereda:	Av. General Rumiñahui S/N y Ambato	4.12 Pto. de Referencia:	Aledaña al Edificio Central de la UFA-ESPE
4.13 Coord. X:	784385.09 m E	4.14 Coord. Y:	9965357.99 m S
4.15 Huso:	17		

a)

PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sísmorresistentes)			
1. Datos generales			
1.1 Fecha:	12/7/2022	1.2 Hora inicio:	16:30
1.3 Hora culminación:	17:30	1.4 Código:	---
2. Datos de los participantes			
Función	Nombre y apellido	Teléfono	Correo electrónico
2.1 Inspector	Edwin Guama	0984037998	epeguama@espe.edu.ec
	Cristian Páez	0987269625	cupaez@espe.edu.ec
2.2 Revisor	Ing. Pablo Caiza Ph.D.	0998809848	pecaiza1@espe.edu.ec
2.3 Supervisor			
3. Datos del entrevistado			
3.1 Relación con la Edif.	3.2 Nombre y apellido	3.3 Teléfono	3.4 Correo electrónico
Estudiante	Bryan Luna	0962865665	bluna@espe.edu.ec
4. Identificación y ubicación de la edificación			
4.1 Nombre o N°: Bloque H -Aulas	4.2 N° de pisos: 4	4.3 N° de semi-sótanos: 0	
4.4 N° de sótanos: 0	4.5 Provincia: Pichincha	4.6 Ciudad: Sangolquí	
4.7 Municipio: Rumiñahui	4.8 Parroquia: Sangolquí	4.9 Urb., Barrio: ---	
4.10 Sector: UFA - ESPE	4.11 Calle, vereda: Av. General Rumiñahui S/N y Ambato	4.12 Pto. de Referencia: Aledaña al Edificio Central de la UFA-ESPE	
4.13 Coord. X: 784342.07 m E	4.14 Coord. Y: 9965372.91 m S	4.15 Huso: 17	

b)

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Uso de la edificación:** En esta sección nos permite identificar los usos que se le da a la edificación evaluada. En este caso el bloque H al ser usado como laboratorios de computación y en la planta baja como oficina, se seleccionó uso educativo (ver Figura 93).

**Capacidad de ocupación:** Esta sección se completa con el número de personas que ocupan la edificación y en que parte del día es usada. Se realizó el cálculo en su máxima capacidad y el Bloque H sería capaz de albergar 500 personas y al ser usada como aulas, solo no serían ocupadas en la noche (ver Figura 93).

**Año de construcción:** Según los libros de obra que fueron revisados, el año que culminaron la construcción tanto del bloque G y H fue en el 2010, es una edificación prácticamente nueva en comparación a las que se tiene en la universidad. Se puede observar que en esta sección se encuentran un rango de años que corresponden a una serie de normativas que fueron adoptados a lo largo de los años en Venezuela como se puede ver en la Figura 28, esta información puede ser adoptada a la normativa ecuatoriana, dando como datos los años a partir desde cuando fue usada la primera normativa en las edificaciones del país (ver Figura 93).

**Condición del terreno:** En esta sección se identifica las condiciones del terreno. La edificación evaluada al encontrarse en una superficie plana se selecciona la opción planicie y al contar de igual manera con un sistema de drenajes para canalizar aguas negras y pluviales, se registra la información (ver Figura 93).

**Figura 93**

Parte 2- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H

5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones)				
<input type="checkbox"/> Gubernamental	<input type="checkbox"/> Militar	<input type="checkbox"/> Médico-Asistencial	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Otro (Especifique)
<input type="checkbox"/> Bomberos	<input type="checkbox"/> Vivienda Popular	<input checked="" type="checkbox"/> Educativo	<input type="checkbox"/> Comercial	
<input type="checkbox"/> Protección Civil	<input type="checkbox"/> Vivienda Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Deportivo- Recreativo	<input type="checkbox"/> Oficina	
<input type="checkbox"/> Policial	<input type="checkbox"/> Vivienda Multifamiliar	<input type="checkbox"/> Cultural	<input type="checkbox"/> Religioso	
6. Capacidad de ocupación (rellenar y marcar con "x", múltiples opciones)				
6.1 Número de personas que ocupan el inmueble: 500		6.2 Ocupación durante: <input checked="" type="checkbox"/> Mañana <input checked="" type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> Noche		
7. Año de construcción (rellenar y marcar con "x", una opción)				
Año: 2010				
<input type="checkbox"/> Antes de 1939	<input type="checkbox"/> Entre 1940 y 1947	<input type="checkbox"/> Entre 1948 y 1955	<input type="checkbox"/> Entre 1956 y 1967	
<input type="checkbox"/> Entre 1968 y 1982	<input type="checkbox"/> Entre 1983 y 1998	<input type="checkbox"/> Entre 1999 y 2001	<input type="checkbox"/> Después de 2001	
8. Condición del terreno (marcar con "x", una opción por pregunta)				
8.1 Edificación en:		8.2 Pendiente del terreno: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°		
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Base <input type="checkbox"/> Cima		8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
8.6 Drenajes: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		8.4 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°		
		8.5 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> Menor a H del talud <input type="checkbox"/> Mayor a H del Talud		

(a)

5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones)				
<input type="checkbox"/> Gubernamental	<input type="checkbox"/> Militar	<input type="checkbox"/> Médico-Asistencial	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Otro (Especifique)
<input type="checkbox"/> Bomberos	<input type="checkbox"/> Vivienda Popular	<input checked="" type="checkbox"/> Educativo	<input type="checkbox"/> Comercial	
<input type="checkbox"/> Protección Civil	<input type="checkbox"/> Vivienda Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Deportivo- Recreativo	<input type="checkbox"/> Oficina	
<input type="checkbox"/> Policial	<input type="checkbox"/> Vivienda Multifamiliar	<input type="checkbox"/> Cultural	<input type="checkbox"/> Religioso	
6. Capacidad de ocupación (rellenar y marcar con "x", múltiples opciones)				
6.1 Número de personas que ocupan el inmueble: 500		6.2 Ocupación durante: <input checked="" type="checkbox"/> Mañana <input checked="" type="checkbox"/> Tarde <input type="checkbox"/> Noche		
7. Año de construcción (rellenar y marcar con "x", una opción)				
Año: 2010				
<input type="checkbox"/> Antes de 1977	<input type="checkbox"/> Entre 1977 y 2001	<input checked="" type="checkbox"/> Entre 2001 y 2015	<input type="checkbox"/> Después de 2015	
8. Condición del terreno (marcar con "x", una opción por pregunta)				
8.1 Edificación en:		8.2 Pendiente del terreno: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°		
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Base <input type="checkbox"/> Cima		8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
8.6 Drenajes: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No		8.4 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> 20°-45° <input type="checkbox"/> Mayor a 45°		
		8.5 Pendiente del talud: <input type="checkbox"/> Menor a H del talud <input type="checkbox"/> Mayor a H del Talud		

(b)

Nota: Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Tipo Estructural:** En esta sección debemos identificar el tipo de estructura, donde la metodología FUNVISIS nos permite seleccionar diferente tipo de estructuras, pero no tiene todas por lo cual en este caso nos toca escoger un tipo similar. La edificación del Bloque G y del Bloque H al ser una edificación de acero, con vigas tipo I

y columnas con perfil tubular que son rellenas de hormigón, por tal motivo el tipo estructural que se seleccionó es el pórtico de acero PAPT como se muestra (ver Tabla 52).

**Tabla 52**

*Tipos de sistema estructural*

<b>Tipo</b>	<b>Código</b>
Pórticos de concreto armado	PCA
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	PCAP
Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	MCA2D
Muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección	MCA1D
Pórticos de acero	PAPT
Pórticos de acero con perfiles tubulares	PAD
Pórticos de acero con diagonales	PAC
Pórticos de acero con cerchas	PRE
Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos	MMC
Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada	MMNC
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción	PMBC
Viviendas de bahareque de un piso	VB
Viviendas de construcción precaria	VCP

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

## Esquema de planta y de elevación

En esta sección se puede seleccionar las irregularidades tanto en planta como en elevación. La estructura evaluada presenta una ligera irregularidad tipo L en planta y una forma rectangular en elevación como se muestra (ver Figura 94).

**Figura 94**

Parte 3- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H

9. Tipo Estructural			
9.1 Marque con "x", múltiples opciones:		de pórticos.	
<input type="checkbox"/> 1. Pórticos de concreto armado	<input type="checkbox"/> 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	<input type="checkbox"/> 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	<input type="checkbox"/> 4. Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel)
<input checked="" type="checkbox"/> 5. Pórticos de acero	<input type="checkbox"/> 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares	<input type="checkbox"/> 7. Pórticos de acero diagonalizados	<input type="checkbox"/> 8. Pórticos de acero con cerchas
<input type="checkbox"/> 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o	<input type="checkbox"/> 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada.	<input type="checkbox"/> 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada.	<input type="checkbox"/> 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos
	<input type="checkbox"/> 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos.	<input type="checkbox"/> 14. Viviendas de bahareque de un piso	<input type="checkbox"/> 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)
9.2 Indique el número del tipo estructural predominante:			
10. Esquema de planta (marcar con "x")		11. Esquema de elevación (marcar con "x")	
<input type="checkbox"/> "H"	<input checked="" type="checkbox"/> "L"	<input type="checkbox"/> Esbeltez horizontal	<input type="checkbox"/> "T"
<input type="checkbox"/> "T"	<input type="checkbox"/> Cajón	<input type="checkbox"/> Ninguno	<input type="checkbox"/> Pirámide invertida
<input type="checkbox"/> "U" ó "C"	<input type="checkbox"/> Regular		<input type="checkbox"/> Piramidal
			<input checked="" type="checkbox"/> Rectangular
			<input type="checkbox"/> "U"
			<input type="checkbox"/> Esbeltez vertical
			<input type="checkbox"/> "L"
			<input type="checkbox"/> Ninguno

(a)

9. Tipo Estructural			
9.1 Marque con "x", múltiples opciones:		de pórticos.	
<input type="checkbox"/> 1. Pórticos de concreto armado	<input type="checkbox"/> 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	<input type="checkbox"/> 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	<input type="checkbox"/> 4. Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel)
<input checked="" type="checkbox"/> 5. Pórticos de acero	<input type="checkbox"/> 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares	<input type="checkbox"/> 7. Pórticos de acero diagonalizados	<input type="checkbox"/> 8. Pórticos de acero con cerchas
<input type="checkbox"/> 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o	<input type="checkbox"/> 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada.	<input type="checkbox"/> 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada.	<input type="checkbox"/> 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos
	<input type="checkbox"/> 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos.	<input type="checkbox"/> 14. Viviendas de bahareque de un piso	<input type="checkbox"/> 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)
9.2 Indique el número del tipo estructural predominante:			
10. Esquema de planta (marcar con "x")		11. Esquema de elevación (marcar con "x")	
<input type="checkbox"/> "H"	<input checked="" type="checkbox"/> "L"	<input type="checkbox"/> Esbeltez horizontal	<input type="checkbox"/> "T"
<input type="checkbox"/> "T"	<input type="checkbox"/> Cajón	<input type="checkbox"/> Ninguno	<input type="checkbox"/> Pirámide invertida
<input type="checkbox"/> "U" ó "C"	<input type="checkbox"/> Regular		<input type="checkbox"/> Piramidal
			<input checked="" type="checkbox"/> Rectangular
			<input type="checkbox"/> "U"
			<input type="checkbox"/> Esbeltez vertical
			<input type="checkbox"/> "L"
			<input type="checkbox"/> Ninguno

(b)

Nota: Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

## Irregularidades

El método FUNVISIS presenta las diferentes irregularidades estructurales que pueden existir en un edificio de forma general, sin clasificarlas por su tipo o gravedad.

En esta sección se va realizando un estudio de diferentes tipos de irregularidades que puede presentar una estructura. El Bloque H solo cuenta con un tipo de irregularidad el cual es tener una separación de 30 cm al bloque adosado. Esta información se abarca en el formulario (ver Figura 95).

### Figura 95

*Junta de separación entre edificaciones.*



### Grado de deterioro y observaciones

En esta sección nos permite identificar que tan grave es el deterioro en la estructura. Las edificaciones tienen una antigüedad de 10 años al ser una edificación prácticamente nueva, actualmente no presenta ningún tipo de deterioro considerable y su mantenimiento ha sido regular debido a que se puede ver que en los antepechos se puede ver pérdida de pintura (ver Figura 96).

De igual manera se ha marcado la información del grado de deterioro en el formulario.

En esta sección el evaluador puede dar observaciones respecto a la estructura que no estén claros en el formulario (ver Figura 93).

**Figura 96**

*Fachadas laterales de las edificaciones a) Bloque G, b) Bloque H*



a)



b)

En esta sección el evaluador puede dar observaciones respecto a la estructura que no estén claros en el formulario (ver Figura 97).

Figura 97

Parte 4- Plantilla del formulario de la FUNVISIS a) Bloque G, b) Bloque H

12. Irregularidades (marcar con "x", múltiples opciones)	
<input type="checkbox"/> 12.1 Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	<input type="checkbox"/> 12.7 Aberturas significativas en losas
<input type="checkbox"/> 12.2 Ausencia de muros en una dirección	<input type="checkbox"/> 12.8 Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta
<input type="checkbox"/> 12.3 Estructura frágil	<input checked="" type="checkbox"/> 12.9 Adosamiento: Losa contra losa
<input type="checkbox"/> 12.4 Presencia de al menos un entrepiso débil o blando	<input type="checkbox"/> 12.10 Adosamiento: Losa contra columna
<input type="checkbox"/> 12.5 Presencia de columnas cortas	<input checked="" type="checkbox"/> 12.11 Separación entre edificios (cm): 30 cm
<input type="checkbox"/> 12.6 Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	
13. Grado de deterioro (marcar con "x", una opción por pregunta)	
13.1 Est. de Concreto: Agrietamiento en elementos estructurales y/o corrosión en acero de refuerzo:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.2 Est. de Acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.3 Agrietamiento en paredes de relleno:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.4 Estado general de mantenimiento:	<input type="checkbox"/> Bueno <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bajo
14. Observaciones	
Estructura mixta de acero con columnas de acero rellenas con hormigón de 4 pisos y losa tipo Deck. En la planificación estructural se planeó realizar la estructura de acero con arriostramientos, pero finalmente se colocaron antepechos de bloque para dar esbeltez a la estructura, lo cual no funciona bien si los antepechos no tienen armadura.	

(a)

12. Irregularidades (marcar con "x", múltiples opciones)	
<input type="checkbox"/> 12.1 Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	<input type="checkbox"/> 12.7 Aberturas significativas en losas
<input type="checkbox"/> 12.2 Ausencia de muros en una dirección	<input type="checkbox"/> 12.8 Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta
<input type="checkbox"/> 12.3 Estructura frágil	<input type="checkbox"/> 12.9 Adosamiento: Losa contra losa
<input type="checkbox"/> 12.4 Presencia de al menos un entrepiso débil o blando	<input type="checkbox"/> 12.10 Adosamiento: Losa contra columna
<input type="checkbox"/> 12.5 Presencia de columnas cortas	<input checked="" type="checkbox"/> 12.11 Separación entre edificios (cm): 30 cm
<input type="checkbox"/> 12.6 Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	
13. Grado de deterioro (marcar con "x", una opción por pregunta)	
13.1 Est. de Concreto: Agrietamiento en elementos estructurales y/o corrosión en acero de refuerzo:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.2 Est. de Acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.3 Agrietamiento en paredes de relleno:	<input checked="" type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Severo
13.4 Estado general de mantenimiento:	<input type="checkbox"/> Bueno <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Bajo
14. Observaciones	
Estructura mixta de acero con columnas de acero rellenas con hormigón de 4 pisos y losa tipo Deck. En la planificación estructural se planeó realizar la estructura de acero con arriostramientos, pero finalmente se colocaron antepechos de bloque para dar esbeltez a la estructura, lo cual no funciona bien si los antepechos no tienen armadura.	

(b)

Nota: Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

### Croquis de ubicación

En esta parte del formulario la metodología permite colocar al evaluador un croquis el cual facilite la ubicación de la estructura evaluada, en este caso del Bloque G y H de la UFA-ESPE (ver Figura 97). Por lo general este tipo de croquis se lo realiza en campo, tratando de plasmar la geometría de las edificaciones estudiadas. Al tener

softwares que nos permiten obtener la ubicación de las edificaciones como lo es el Google Earth, se procedió a realizarlo de esta manera.

### Figura 98

*Croquis de ubicación las edificaciones*



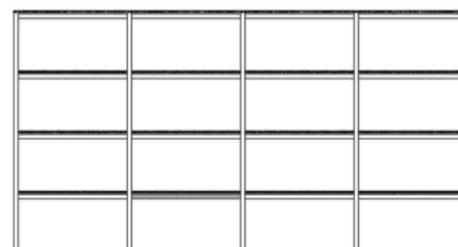
*Nota:* Recuperado de Google Earth

### **Croquis de fachada y planta**

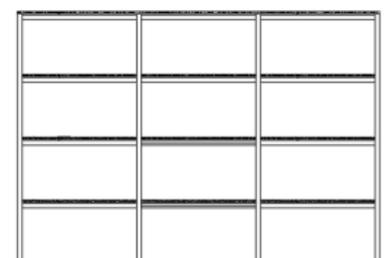
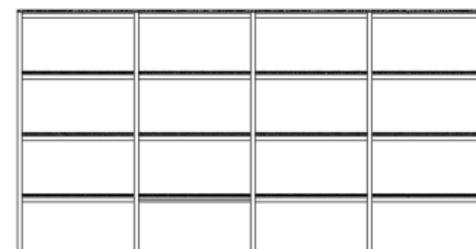
Esta sección del formulario nos permite colocar un croquis tanto de la fachada y planta de la estructura. Ambos bloques cuentan El Bloque G y Bloque H, al ser prácticamente las mismas edificaciones, solo que con diferente orientación. Las dos edificaciones cuentan con cuatro vistas a sus fachadas y de igual manera cuenta con un mismo modelo de planta para los cuatro pisos. (ver Ilustración 98). Figura97 y 99). Los croquis tanto de fachado y planta colocados en el formulario, se contó tanto con planos arquitectónicos como estructurales. Los planos arquitectónicos fueron otorgados por el Departamento de Desarrollo Físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas UFA-ESPE, y los planos estructurales fueron otorgados por el Dr. Pablo Caiza de manera digital (ver Figura 99).

**Figura 99**

*Vistas laterales de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H*

**Fachada SUR****Fachada NORTE****Fachada OESTE****Fachada ESTE**

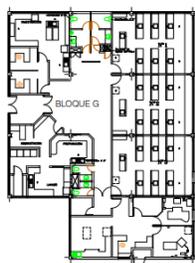
(a)

**Fachada NORTE****Fachada SUR****Fachada ESTE****Fachada OESTE**

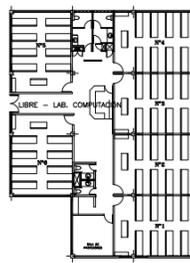
(b)

Figura 100

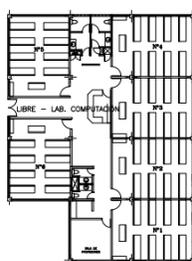
Vistas en planta de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H



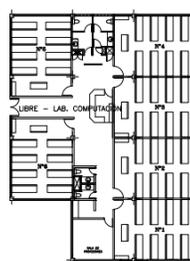
Planta Baja



Primera Planta



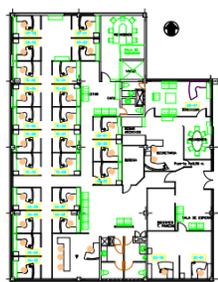
Segunda Planta



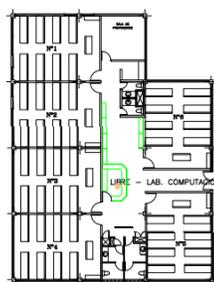
Tercera Planta

BLOQUE G  
(SECTOR ESTE)

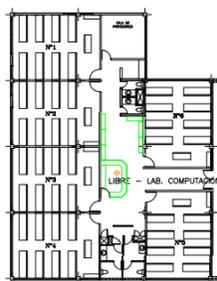
(a)



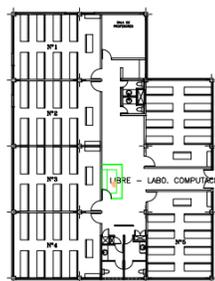
Planta Baja



Primera Planta



Segunda Planta



Tercera Planta

BLOQUE H  
(SECTOR OESTE)

(b)

### Procesamiento de datos

Mediante la información recolectada y los datos colocados en el formulario la metodología FUNVISIS nos ayuda a calcular los índices de vulnerabilidad y riesgo para saber la priorización que hay que dar a la estructura evaluada.

El Bloque G y H al ser prácticamente la misma estructura, ya que cambia únicamente su orientación se procederá a realizar el procesamiento de datos al mismo tiempo de las dos edificaciones.

#### Índice de Priorización de Edificaciones

Para obtener el Índice de Priorización hay que identificar la zona sísmica en la cual se encuentra la edificación, la importancia de la edificación, el número de personas que ocupan el inmueble, el año de construcción, el tipo estructural, el número de pisos, la profundidad del depósito de suelo, el grado de deterioro, la topografía del sitio; además de otras características de la estructura que guarden relación a su desempeño ante un evento sísmico.

El Índice de Priorización (IP) se calcula a partir de la Ecuación 30:

$$I_P = I_A * I_V * I_I \quad (30)$$

Donde

- IA Índice de amenaza
- IV Índice de vulnerabilidad
- II Índice de importancia

El índice de Riesgo (IR) (Ecuación 31) se calcula entre el producto del índice de amenaza (IA) y el índice de vulnerabilidad (IV).

$$I_R = I_A * I_V \quad (31)$$

### Índice de amenaza

La guía para evaluación estructural FUNVISIS nos presenta valores de índice de amenaza según la aceleración en roca ( $A_o$ ) en sus siete zonas sísmicas (ver Tabla 53).

**Tabla 53**

*Valores del índice de amenaza (IA)*

Zona	Peligro Sísmico	$A_o$	$I_A$	
			Sin efectos topográficos	Con efectos topográfico
7		0,40	0,90	1,00
6	Elevado	0,35	0,80	0,88
5		0,30	0,68	0,75
4	Intermedio	0,25	0,56	0,63
3		0,20	0,45	0,50
2		0,15	0,34	0,38
1	Bajo	0,10	0,23	0,25
0		-	0,05	0,05

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

Los Bloques G y H son edificaciones que están construidas en Sangolquí, donde la NEC-15 establece que tiene peligro sísmico elevado el valor tomado de la tabla corresponde a la zona 7, es decir 0,40 y no presenta efectos topográficos debido a que

la edificación se encuentra construida en un sitio plano. Una vez realizado este análisis se establece que el valor de Índice de amenaza IA=0,90.

### Índice de vulnerabilidad

El Índice de Vulnerabilidad (IV) está dado por la Ecuación 32:

$$I_V = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot I_i \quad (32)$$

Donde

$I_i$  Índice de la Vulnerabilidad específica "i"

$\alpha_i$  Peso relativo, (ver Tabla 54)

Cada índice  $I_i$  tiene un valor máximo de 100 por lo que el Índice de Vulnerabilidad (IV) está también asociado a un valor de 100.

**Tabla 54**

*Índices de vulnerabilidad ( $I_i$ ) y pesos relativos ( $\alpha_i$ )*

$I_i$	Vulnerabilidad asociada a:	$\alpha_i$
$I_1$	Antigüedad y norma utilizada	0,25
$I_2$	Tipo estructural	0,35
$I_3$	Irregularidad	0,25
$I_4$	Profundidad del depósito	0,07
$I_5$	Topografía y drenajes	0,04
$I_6$	Grado de deterioro	0,04

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

### ***Índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad: $I_1$***

El índice de vulnerabilidad  $I_1$  se relaciona con el año de construcción y la norma que fue utilizada en momento de ser construida la edificación. La metodología FUNVISIS evalúa sus edificaciones por intervalos de tiempos, debido a que en cada intervalo fue utilizada diferente normativa. Ecuador al ser un país que comenzó a regirse según una normativa después que Venezuela, se puede adaptar la metodología FUNVISIS a partir de que Ecuador comenzó a utilizar de igual manera su normativa.

La primera referencia que tuvo Ecuador con respecto a normas de construcción fue en 1997 cuando se estableció el primer Código de Construcción, el cual contenía el proceso de estimación de fuerzas laterales y requisitos para el diseño sísmico. No fue hasta el 2001 cuando recién se comenzó a generar mapas de zonificación sísmica dentro del Código de Construcción Ecuatoriano, donde también se incluyó requisitos de diseño, tomando como referencia las enseñanzas obtenidas en el terremoto de Bahía de Caráquez que fue de magnitud 7,1. Al código de 2001 también se le incluyó modelados análogos del Código Americano UBC 1997, por lo cual este código ha sido tomado como un año de referencia en cuanto al diseño sísmico en Ecuador. Finalmente, en 2015 se aprobó la actual Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 la cual se considera un código mejorado para el diseño sismo-resistente de estructuras en el país (MIDUVI, 2016).

Según los códigos utilizados anteriormente en el país, se ha adoptado los valores para el índice de vulnerabilidad de acuerdo a la Tabla 55.

**Tabla 55**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad adaptados para Ecuador (11)*

<b>Año de Construcción (t)</b>	<b><math>t \leq 1977</math></b>	<b><math>1977 &lt; t \leq 2001</math></b>	<b><math>2001 &lt; t \leq 2015</math></b>	<b><math>t &gt; 2015</math></b>
$I_1$	100	70	15	10

*Nota:* Recuperado de (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021)

Los Bloque G y H al ser edificaciones que se terminaron de construir en el 2010, es decir antes de que se aprobara la última normativa, por lo que el valor correspondiente al Índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad  $I_1=15$ .

***Índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural: I<sub>2</sub>***

Según la estructura seleccionada, cada estructura cuenta con un índice de vulnerabilidad diferente. La metodología FUNVISIS nos permite escoger quince tipos estructurales de uso común (ver Tabla 5751). En caso de que la estructura presente más de un tipo estructural, se debe escoger el tipo estructural predominante.

**Tabla 56**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural (I<sub>2</sub>)*

Identificación del		Descripción	I <sub>2</sub>
Tipo estructural			
1	PCA	Pórticos de concreto armado	25
2	PCAP	Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	40
3	MCA2D	Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	10
4	MCA1D	Sistemas con muros de concreto armado de poco espesor, dispuestos en una sola dirección, como algunos sistemas del tipo túnel	90
5	PA	Pórticos de acero	40
6	PAPT	Pórticos de acero con perfiles tubulares	60
7	PAD	Pórticos de acero diagonalizados	20
8	PAC	Pórticos de acero con cerchas	40

Identificación del Tipo estructural		Descripción	I <sub>2</sub>
9	PRE	Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o de pórticos	90
10	MMC	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada	70
11	MMNC	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada	100
12	PMBCB	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	90
13	PMBCA	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos	95
14	VB	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	VCP	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	100

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

Las edificaciones corresponden a Pórticos acero con vigas tipo I y columnas tubulares rellenas de hormigón. Esto se puede constatar en los planos estructurales y planillas, para realizar el estudio se considera estructuras predominantes la estructura predominante, es decir la estructura de acero, el valor de Índice de vulnerabilidad asociado al tipo estructural I<sub>2</sub>= 40.

### ***Índice de vulnerabilidad asociado a la irregularidad: I<sub>3</sub>***

Para conocer la vulnerabilidad de la edificación evaluada se debe considerar los diferentes tipos de irregularidades geométricas y deficiencias estructurales que

intervienen en el desempeño sísmico. La tabla 57 nos presenta las diferentes irregularidades que se pueden presentar con su índice de vulnerabilidad y se determina con la Ecuación 33.

$$I_3 = \sum_{j=1}^{11} I_{3j} \leq 100 \quad (33)$$

Donde

$I_{3j}$  índice de irregularidad asociado a la irregularidad  $j$ . El máximo valor que puede adoptar  $I_3$  es 100.

#### Tabla 57

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado a irregularidades ( $I_{3j}$ )*

	<b>Descripción de la irregularidad</b>	<b><math>I_{3j}</math></b>
1	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	40
2	Ausencia de muros en una dirección, como ocurre en algunos sistemas del tipo túnel	80
3	Edificios de carácter frágil, sin capacidad para disipar energía, como lo son las edificaciones de adobe o de paredes de bloques que no poseen refuerzo metálico interior ni elementos de confinamiento (columnas, vigas de corona)	100
4	Presencia de al menos un entrepiso blando o débil	50
5	Presencia de columnas cortas	30
6	Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	30
7	Aberturas significativas en losas	10

	<b>Descripción de la irregularidad</b>	<b>I<sub>3j</sub></b>
8	Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta o esquemas de elevación del tipo L	20
9	Adosamiento a edificio adyacente: (a) Losa contra losa (b) Losa contra columna	10 20
10	Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal	10
11	Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical	10

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

El Bloque G y H cuentan con una irregularidad en planta, ya que cuenta con una esquina reentrante. (ver Figura 100).

Para las edificaciones la única irregularidad que presentan es en planta pues se presentan retrocesos excesivos en las esquinas cuya forma es tipo "L", (ver Figura 39 Cap.3). Por lo que el I<sub>3j</sub>=10

#### ***Índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito: I<sub>4</sub>***

Este índice se considera en caso de ser una estructura mayor a 6 pisos y que se encuentren asentadas sobre sedimentos de gran profundidad, ya que en caso de un sismo esto representa respuestas sísmicas mayores y perjudiciales para la edificación, estas condiciones se presentan en la Tabla 58.

**Tabla 58**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito (I<sub>4</sub>)*

<b>Situaciones de aplicación</b>	<b>I<sub>4</sub></b>
Edificios con un número de pisos mayor que 6 pisos y localizados en depósitos de sedimentos de profundidad mayor a 120 metros	100
Otros casos	0

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

De acuerdo al número de pisos de las estructuras que poseen 4 pisos, entra en la categoría de Otros casos con un Índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito  $I_4=0$ .

El Bloque G y H cuentan con 4 pisos, por lo que automáticamente entra en la categoría de “Otros casos” con un Índice de vulnerabilidad asociado a la profundidad del depósito  $I_4=0$ .

#### ***Índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes: I<sub>5</sub>***

Este índice de vulnerabilidad busca identificar el lugar de emplazamiento de la edificación, en caso de que se encuentre ubicada en laderas o cerca de ellas. De igual manera, se quiere determinar con la información colocada si cuenta con drenajes para canalizar aguas servidas y pluviales.

El índice I<sub>5</sub> atiende a identificar situaciones de vulnerabilidad asociadas a construcciones hechas en laderas o cerca de éstas, debido a una potencial falla de estabilidad en taludes no protegidos por obras de contención. En la Tabla 59 se presentan los valores de I<sub>5</sub> cuya selección depende de los valores del ángulo de

inclinación  $q$  de la ladera, de la altura  $H$  de la ladera y de la distancia  $D$  que se definen en la Figura 101.

**Tabla 59**

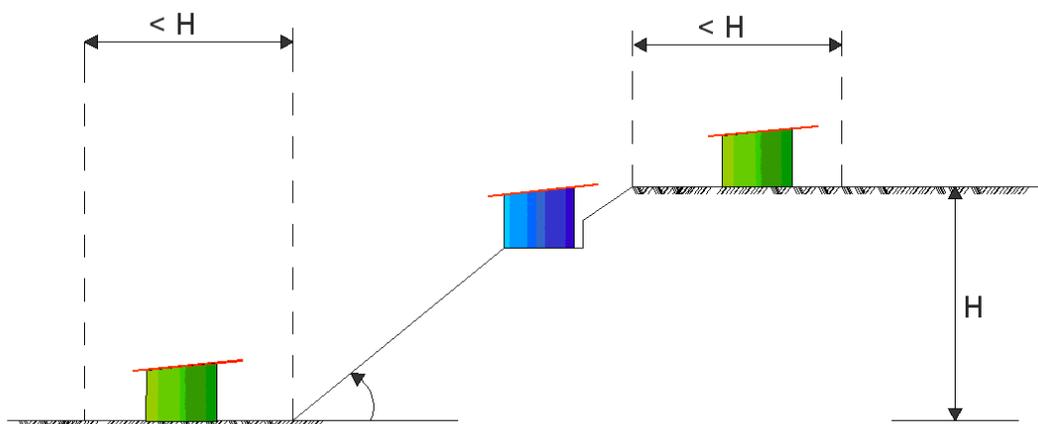
*Valores del índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y a los drenajes ( $I_5$ )*

		Características	$I_5$
Localización de la construcción		Construcción sobre planicie	0
		Construcción sobre ladera con pendiente de ángulo $\theta$ dada por:	Entre $20^\circ$ y $45^\circ$ $>45^\circ$
		Construcción sobre la cima o en la base de la ladera de pendiente $\theta > 20^\circ$ , a una distancia $D$ :	Menor o igual a $H$ Mayor a $H$
Existencia de drenajes		Sí	0
		No	20

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Figura 101**

*Construcciones considerando vulnerabilidad asociada a la topografía ( $I_5$ ).*



*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

Las estructuras no presentan condiciones significativas de laderas cercanas, por lo que se han considerado que es una construcción sobre planicie, además posee drenajes para para canalizar las aguas negras. El Bloque G y H se encuentran contruidos en una planicie y no cuentan con laderas cercanas que presenten problemas de vulnerabilidad; además, las estructuras cuentan con sus respectivos drenajes para canalizar las aguas negras. Por esto se adopta el valor de Índice de vulnerabilidad asociado a la topografía y drenajes  $I_5=0$ .

***Índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro:  $I_6$***

La Tabla 6155 muestra los valores del índice de vulnerabilidad según el deterioro presentado en la edificación, siendo mayor en caso de que exista algún tipo de agrietamiento en elementos estructurales o corrosión en elementos de acero. El índice es menor en caso de que el agrietamiento sea en paredes de igual manera se presentan valores que representan el estado general de la edificación.

**Tabla 60**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro ( $I_6$ )*

<b>Componente</b>	<b>Grado de deterioro</b>	<b><math>I_6</math></b>		
Estructura	(a) <b>Estructura de concreto:</b> Agrietamiento en elementos estructurales de concreto armado	Severo Moderado	70 35	
	y/o corrosión en acero de refuerzo	Ninguno	0	
	(b) <b>Estructura de acero:</b> Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo de elementos	Severo Moderado Ninguno	70 35 0	
	Paredes		Severo	20
		Agrietamiento en paredes de relleno	Moderado	10
			Ninguno	0

		Bajo	10
Todos	Estado general de mantenimiento	Regular	5
		Bueno	0

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

Las estructuras no presentan ninguno tipo de deterioro considerable descritos en la Tabla 60 y se les ha asignado un estado del mantenimiento regular debido a perdida de pintura en fachadas y falta de mantenimiento en terrazas, por lo que el Índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro  $I_6=5$ .

El Bloque G y H no presentan ningún grado de deterior en su estructura ni en sus paredes. Debido a que las edificaciones se encuentran expuestas a las diferentes condiciones climáticas se ha perdido parte del color, principalmente en la terraza, que es la más expuesta, por lo que el valor asignado en el Índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro  $I_6=5$ .

### **Resumen Índice de vulnerabilidad**

En la Tabla 61 se presenta el valor del Índice de vulnerabilidad para ambos bloques resultaron ser los mismos valores ya que son edificaciones similares como se explicó en el capítulo 3.

**Tabla 61**

*Cálculo del índice de vulnerabilidad para ambos bloques.*

<b>Vulnerabilidad asociada a:</b>	<b><math>l_i</math></b>	<b><math>\alpha_i</math></b>	<b><math>l_i \cdot \alpha_i</math></b>	
Antigüedad y norma utilizada	$l_1$	15	0,25	3,75
Tipo estructural	$l_2$	40	0,35	14,00
Irregularidad	$l_3$	10	0,25	2,50
Profundidad del depósito	$l_4$	0	0,07	0,00
Topografía y drenajes	$l_5$	0	0,04	0,00
Grado de deterioro	$l_6$	5	0,04	0,20
	$l_v$			20,45

### **Índice de importancia**

El Índice de Importancia ( $l_i$ ) tiene como finalidad incorporar dentro del proceso de priorización el uso de la construcción y el número de personas expuestas durante un terremoto. Se asignan índices mayores a aquellas construcciones esenciales, las cuales deben mantener su nivel de operación durante la ocurrencia de un sismo, como pueden ser los hospitales y centros de salud, escuelas que sirven de refugio temporal y otras.

Los valores de índice de importancia se muestran en la Tabla 62 en función del uso del edificio y del número (N) de personas expuestas u ocupantes de la edificación a ser evaluada.

El Índice de Importancia (II) permite dar prioridad a los diferentes tipos de construcciones dependiendo su uso y número de ocupantes durante un terremoto. La metodología FUNVISIS nos presenta una tabla con 3 grupos, que depende al uso del edificio (ver Tabla 57). Los valores con el índice de importancia dependen de la cantidad de personas que pueden ocupar el edificio (ver Tabla 58).

**Tabla 62***Clasificación según el uso del edificio*

<b>Grupo</b>	<b>Uso del edificio</b>
A1	Hospitales y centros de salud, estaciones de bomberos y de protección civil.
A2	Cuarteles de policía, edificios de asiento del gobierno local, regional o nacional, edificios educacionales, construcciones patrimoniales de valor excepcional, centrales eléctricas, subestaciones de alto voltaje y de telecomunicaciones, plantas de bombeo, depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos, torres de control, centros de tráfico aéreo. Edificaciones que albergan instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas económicas. Edificios que contienen objetos de valor excepcional, como ciertos museos y bibliotecas. Edificaciones que puedan poner en peligro algunas de las de los Grupos A1 y A2.
A3	Todas aquellas edificaciones no contenidas en los grupos A1 y A2 tales como viviendas, edificios de apartamentos, de oficinas, comerciales, hoteles, bancos, restaurantes, cines, teatros, almacenes y depósitos.

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Tabla 63***Valores del Índice de Importancia, II*

<b>Uso del edificio</b>	<b>N ≤ 10</b>	<b>10 &lt; N ≤ 100</b>	<b>100 &lt; N ≤ 500</b>	<b>500 &lt; N ≤ 1000</b>	<b>N &gt; 1000</b>
A1	0,90	0,92	0,95	0,97	1
A2	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95
A3	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

El Bloque G y H al ser edificios educacionales y considerando que son capaces de albergar en sus instalaciones un máximo de 500 personas, se toma el valor de Índice de Importancia  $II=0,90$ .

Debido a que el uso de los edificios los cuales en su mayoría son usados como laboratorios de computación entrando en el grupo A2 se considera un número de personas entre 100 y 500 con un valor de Índice de Importancia  $I_i=0,90$ .

### **Resultados**

De la Ecuación 30 y 31 obtenemos el índice de prioridad (IP) y el índice de riesgo (IR) de la edificación, respectivamente, y estos resultados se muestran en la Tabla 64.

**Tabla 64***Índice de Priorización y Riesgos de las edificaciones del Bloque G y H*

<b>Edificación</b>	<b>I<sub>A</sub></b>	<b>I<sub>V</sub></b>	<b>I<sub>I</sub></b>	<b>I<sub>P</sub></b>	<b>I<sub>R</sub></b>
Bloque G – Aulas	0,90	20,45	0,90	16,56	18,41
Bloque G y H– Aulas	0,90	20,45	0,90	16,56	18,41

En las Tablas 65, 66 y 67 se definen rangos y se califican los mismos para valores de los índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización.

**Tabla 65**

*Valoración del Índice de Vulnerabilidad, IV*

<b>I<sub>V</sub> Rango de Valores</b>	<b>Calificación de la Vulnerabilidad</b>
$60 \leq I_V \leq 100$	Muy Elevada
$40 \leq I_V < 60$	Elevada
$30 \leq I_V < 40$	Media Alta
$20 \leq I_V < 30$	Media Baja
$10 \leq I_V < 20$	Baja
$0 \leq I_V < 10$	Muy Baja

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Tabla 66**

*Valoración del Índice de Riesgo, IR*

<b>Calificación del Riesgo</b>	<b>I<sub>R</sub> Rango de Valores</b>
Muy Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Media Alto	$15 \leq I_R < 25$
Media Bajo	$8 \leq I_R < 15$
Bajo	$3 \leq I_R < 8$
Muy Bajo	$0 \leq I_R < 3$

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

**Tabla 67***Valoración del Índice de Priorización, IP*

<b>Calificación de la Priorización</b>	<b>IP Rango de Valores</b>
(Prioridad máxima) P1	$60 \leq I_p \leq 100$
P2	$50 \leq I_p < 60$
P3	$40 \leq I_p < 50$
P4	$30 \leq I_p < 40$
P5	$25 \leq I_p < 30$
P6	$20 \leq I_p < 25$
<b>P7</b>	<b><math>16 \leq I_p &lt; 20</math></b>
P8	$12 \leq I_p < 16$
P9	$8 \leq I_p < 12$
P10	$5 \leq I_p < 8$
P11	$2 \leq I_p < 5$
(Prioridad mínima) P12	$0 \leq I_p < 2$

*Nota:* Recuperado de (FUNVISIS, 2014)

Los bloques G y H cuentan con un índice de vulnerabilidad “Medio Bajo” con un valor de 20,45; un índice de riesgo “Medio Alto” de 18,41 y un índice de priorización “P7” de 16,56. Lo que indica que en caso de existir edificios en el sector con mayor índice de prioridad se tomará en cuenta primero a ellos para la siguiente fase, donde se tomará las respectivas decisiones para la reducción del riesgo sísmico.

### **Otras metodologías**

Los edificios analizados en este proyecto cumplen con la función de aulas y laboratorios tanto de computación como de biotecnología, entonces son edificios

destinados a la educación es por esto que hemos propuesto adaptar la Normativa estadounidense FEMA P-1000 a nuestro proyecto basándonos principalmente al riesgo sísmico. Esta metodología presenta pautas para mejorar la seguridad de establecimientos educativos ante peligros naturales. La idea de la normativa se centra en la prevención, protección y mitigación para las edificaciones de ocupación especial en este caso de nivel educativo superior englobando amenazas naturales, tecnológicas, biológicas y otras provocadas por el ser humano.

### **Metodología FEMA P-1000**

La metodología FEMA P-1000 es un formato aplicado en Estados Unidos, que al igual que las otras metodologías ya usadas, se calcula el grado de vulnerabilidad de la estructura de manera visual.

La evaluación del grado de vulnerabilidad se lo realiza mediante una planilla donde se recolectan los datos, tomados en una inspección. Esta metodología a diferencia de la FEMA P-154, se enfoca en establecimientos educativos.

### ***Descripción***

#### ***Grupos de Vulnerabilidad (GV)***

La metodología parte de un puntaje base y tres grupos de vulnerabilidad para cuantificarlo.

- P. Base: Año de construcción

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

- GV1: Aspectos generales de la Unidad Educativa

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

- GV2: Vulnerabilidad estructural

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

- GV3: Vulnerabilidad de sistemas no estructurales

Estado de conservación de la edificación y cubiertas, sumado al contenido de la unidad educativa, por ejemplo, tanques de almacenamiento de agua, paredes divisorias, cielos rasos, lámparas, estanterías, puertas, ventanas, entre otros (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

***Puntaje base de Evaluación según la guía de (Ballesteros & Caizaguano, 2020)***

El puntaje base depende del año en que se construyó el establecimiento y determina si cumple los objetivos de desempeño que establece el American Society of Civil Engineers, el cual es prevenir el colapso de la estructura, ya que permiten daños en los elementos estructurales pero que sigan funcionando y permite un gran daño en elementos no estructurales. En conclusión, el puntaje base parte del año de edificación de la estructura y de esta manera se establece los rangos de vulnerabilidad.

Para años anteriores al 1977, donde se introdujo la primera normativa del Ecuador se considera a las edificaciones construidas en este periodo como deficientes en cuanto a su desempeño estructural.

Aproximadamente hasta el año 2000 no se exigía un diseño sísmo resistente en las estructuras, hasta que ocurrió en 1998 el sismo de Bahía de Caráquez donde se evidenció que el código CEC 77, usado en ese tiempo no era eficiente ante un evento de esta magnitud. Así fue que se actualizó el código y apareció el CEC 2000 el cual estableció que ante eventos sísmicos dependiendo la magnitud, se debe evitar el colapso de la estructura ante eventos severos.

En el 2015 se aprobó la última normativa que rige actualmente el país, el cual se rige bajo una filosofía de diseño el cual permite comprobar el nivel de seguridad de vida. “El diseño estructural se hace para el sismo de diseño, el cual considera un terremoto que posee una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años”. (MIDUVI & CAMICON, 2014)

### **Pre Código**

La primera norma ecuatoriana de construcción fue implementada en el año 1977, por lo cual no existía un control. Años anteriores de entrar en rigor la norma, las construcciones se realizaban informalmente, sin contar con un control técnico lo que llevó al colapso de estructuras después de eventos sísmicos de grados significantes.

### ***Código Ecuatoriano de Construcción 1977 (Período de Transición)***

En junio de 1977 se implementó la primera norma de construcción por la desconfianza que provocó el colapso de edificaciones por eventos sísmicos.

La norma fue elaborada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), tomando como referencia a la normativa estadounidense ACI (American Concrete Institute).

### **Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC 2000) (Post código)**

La primera norma de construcción dio a notar sus deficiencias, a partir del sismo del 4 de agosto de 1998 en Bahía de Caráquez porque existió una gran cantidad de estructuras que colapsaron con una respuesta deficiente en el desempeño ante el movimiento telúrico ocurrido, por este motivo fue incluido el capítulo 12 del Código Orgánico de la Construcción oficializado en el año 2001 y su actualización fue en el 2002 con el nombre de “Peligro Sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo resistente”, con vigencia inmediata y obligatoria.

### **Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15) (Código Moderno)**

El Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) se estableció mediante el Decreto Ejecutivo N° 705, con registro oficial N°421, encargándose de analizar la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para que cumpla con los requisitos mínimos para el diseño, fiscalización y construcción en las obras para precautelar la vida de los usuarios.

El puntaje base está ligado directamente al año de construcción de la edificación a evaluar, considerando que las edificaciones de mayor antigüedad tienen una mayor vulnerabilidad por ser construidas sin base a una normativa o esta está obsoleta. Las construcciones realizadas a partir de la vigencia de la normativa NEC-15 tienen una menor vulnerabilidad.

Existen 4 secciones que determinan un puntaje específico en base al año de construcción de la edificación, es decir, conforme a la normativa vigente en el año de construcción.

**Tabla 68**

*Puntaje base según el Año de Construcción*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020)

### **Grupos de Vulnerabilidad GV1, GV2 y GV3**

Cada grupo de vulnerabilidad tiene variables a evaluar en base a 4 grados ( $G_A$ ,  $G_B$ ,  $G_C$  y  $G_D$ ), con diferente porcentaje a partir de la vulnerabilidad de la estructura.

**Tabla 69**

*Grados de vulnerabilidad para GV1, GV2 y GV3*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Puntaje</b>
$G_A$	Representa una vulnerabilidad baja	20
$G_B$	Representa una vulnerabilidad media	40
$G_C$	Representa una vulnerabilidad alta	60
$G_D$	Representa una vulnerabilidad muy alta	80

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020)

### **Grupo de Vulnerabilidad GV1**

#### **Número de Pisos.**

Las Unidades Educativas en Ecuador por lo general no exceden los 4 pisos. Al estar ubicadas las estructuras en Sangolquí, se ha visto que mientras más alta sea la estructura, más vulnerable es. Las estructuras evaluadas al ser construidas bajo el código CEC 2000 las condiciones de vulnerabilidad bajan.

**Tabla 70***Grado de vulnerabilidad por número de pisos*

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

*Nota:* Recuperado de (FEMA, 2016)

Para el caso de estudio de los Bloques G y H, se toma el valor correspondiente a Post código de la Tabla 70.

### **Tipo de edificio FEMA**

La FEMA nos presenta un listado, donde nos presenta el sistema estructural de diferentes tipos de edificaciones. El evaluador deberá identificar el sistema estructural de la Unidad Educativa, una vez hecha la inspección. Las edificaciones evaluadas son de estructura de acero con muros de mampostería no reforzados, esto se comprobó con los planos estructurales y las planillas.

Los sistemas estructurales que presenta la FEMA relaciona los sistemas similares para serles asignados los grados de vulnerabilidad para que de este modo obtengan un puntaje básico.

### **Condición de golpeteo**

En un sismo la interacción entre dos estructuras juntas puede generar varios daños, ya que debido al movimiento del suelo puede haber golpeteo entre las estructuras. Además de este problema, hay que tomar en cuenta en caso de que haya

la posibilidad de caída de sismas no estructurales de la misma edificación o de la edificación adyacente.

**Tabla 71**

*Grado de vulnerabilidad por golpeteo*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

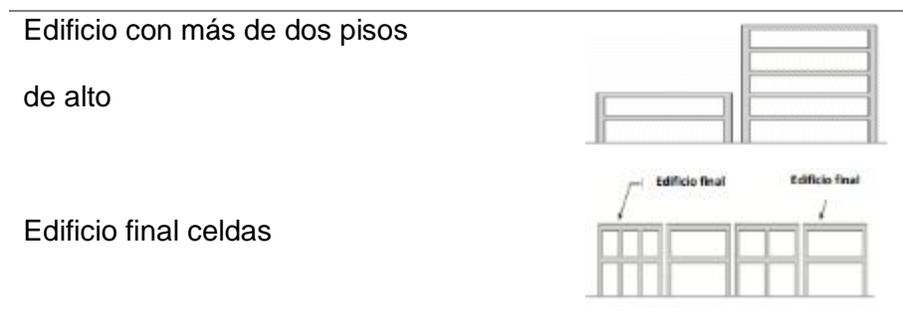
Las edificaciones evaluadas cuentan con la separación mínima establecida en la normativa entre edificaciones adyacentes, por lo tanto, no habrá golpeteo en caso de haber un sismo.

### Condición adyacencia

**Tabla 72**

*Grado de vulnerabilidad por adyacencia*

Condición	Gráfico
Separación vertical de pisos adyacentes	



*Nota:* Recuperado de (FEMA, 2016)

**Tabla 73**

*Grado de vulnerabilidad por adyacencia*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
No presenta edificios cercanos que puedan causar problema de golpeteo	$G_A: 20$
El edificio se encuentra al final de una fila de más de tres edificios	$G_B: 40$
Nivel de pisos entre edificios es de más de 60 cm en vertical	$G_C: 60$
Existe un edificio adyacente con más de dos plantas de diferencia con el edificio evaluado	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

Los Bloques G y H, para el grado de vulnerabilidad por golpeteo toman el valor de 40 por motivo de que el edificio central adyacente se encuentra a 30cm de separación. Para el parámetro de grado de vulnerabilidad por adyacencia toma un valor de 20 por motivo de que no se presentan edificios cercanos que puedan causar problemas de golpeteo.

### Tipo de Suelo

Es un parámetro de suma importancia, depende del tipo de suelo para poder evaluar el comportamiento de la estructura. Después de realizar los respectivos ensayos se ha llegado a la conclusión de que el tipo de suelo donde se encuentran las edificaciones evaluadas es tipo D.

#### Tabla 74

*Grado de vulnerabilidad por tipo de perfil de suelo*

Tipo de perfil de suelo	Grado de vulnerabilidad
Tipo A y Tipo B	$G_A: 20$
Tipo C	$G_B: 40$
Tipo D	$G_C: 60$
Tipo F	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

#### Tabla 75

*Grado de perfil de suelo según la NEC-15*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_{s30} \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_{s30} \geq 760 \text{ m/s}$
C	a) Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante.	a) $760 \text{ m/s} > V_{s30} \geq 360 \text{ m/s}$ b.1) $N \geq 50$ b.2) $S_u \geq 100 \text{ KPa}$

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	<p>b) Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios</p> <p>a) Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de corte</p> <p>b) Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones</p>	<p>a) <math>360 \text{ m/s} &gt; V_{s30} \geq 180 \text{ m/s}</math></p> <p>b.1) <math>50 &gt; N \geq 15</math></p> <p>b.2) <math>100 \text{ KPa} &gt; S_u \geq 50 \text{ KPa}</math></p>
E	<p>a) Perfiles de suelos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de corte.</p> <p>b) Perfil que contiene un espesor total mayor de 3 m de arcillas blandas.</p>	<p>a) <math>V_{s30} &lt; 180 \text{ m/s}</math></p> <p>b.1) <math>IP &gt; 20</math></p> <p>b.2) <math>w \geq 40\%</math></p> <p>b.3) <math>S_u &lt; 50 \text{ KPa}</math></p>
F	<p>F1: Suelos susceptibles a falla o colapso por excitación sísmica. Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o pobremente cementados.</p> <p>F2: Turba o arcillas orgánicas (<math>H &gt; 3m</math>)</p> <p>F3: Arcillas de muy alta plasticidad (<math>H &gt; 7.5m</math> e <math>IP &gt; 75</math>)</p> <p>F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana – blanda (<math>H &gt; 30m</math>)</p>	

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	F5: Suelos con contrastes de impedancia dentro de los primeros 30m sobre del perfil del subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones de velocidades de ondas de corte	
	F6: Rellenos colocados sin control ingenieril.	

*Nota:* Recuperado de (MIDUVI & CAMICON, 2015)

### **Grupo de Vulnerabilidad (GV2)**

#### **Relación Largo Ancho.**

Esta variable es importante debido a que si la edificación tiene una gran longitud en planta afecta al comportamiento estructural enormemente. Cuando se crean los movimientos rotacionales en el edificio, aumenta la demanda de resistencia y ductilidad. Además de que el efecto de un sismo varía para diferentes puntos de la estructura (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

Por este motivo la NEC 15 establece que para la relación largo-ancho de una edificación no puede ser mayor a 4 y el largo no superar los 30 m. Si se presenta el caso en que supere la longitud admisible, se debe emplear juntas que dividan a la edificación en bloques no mayores a 30 m.

#### **Tabla 76**

*Grado de vulnerabilidad por relación largo ancho*

Condición	Grado
La edificación posee una relación largo ancho menor a 4	$G_A: 20$
La edificación posee una relación largo ancho menor a 4. Uno de sus longitudes es próxima a 30m	$G_B: 40$

Condición	Grado
La edificación posee una relación largo ancho mayor a 4	$G_C$ : 60
La edificación posee una relación largo ancho mayor a 4, no se identifica juntas de separación. Una de las longitudes supera los 30m	$G_D$ : 80

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

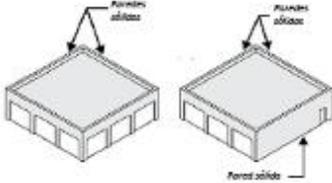
Para las dos edificaciones de estudio corresponde el valor mínimo de  $GA= 20$ , debido a que el largo de las estructuras es de 25,8 m y un ancho de 12,9 m, dando una relación largo-ancho de 2, es decir, es menor a 4.

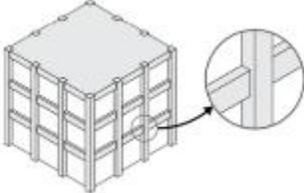
### Irregularidades en Planta

Este parámetro se presenta por varios motivos, entre ellos por las condiciones arquitectónicas o por aprovechar el terreno disponible (Alamgro Oña & Paredes Jaramillo, 2016). La Tabla 77 indica las características para determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura.

**Tabla 77**

*Irregularidades en Planta*

Condición	Gráfico
Torsión	

Condición	Gráfico
Sistemas no paralelos	
Esquina reentrante	
Abertura en diafragma	
Vigas no alineadas con las columnas	

*Nota:* Recuperado de (FEMA, 2016)

**Tabla 78**

*Grado de vulnerabilidad por irregularidad en planta*

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

Condición	Grado
La edificación presenta: Torsión. Sistemas no paralelos	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

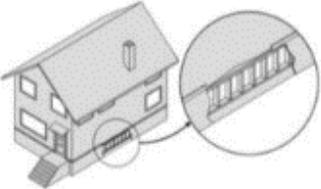
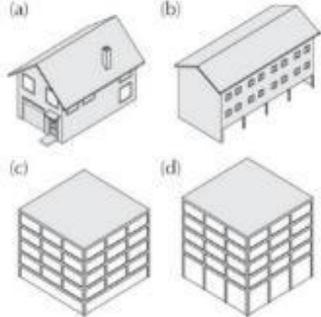
En los Bloques G y H presentan una irregularidad en planta especificada en la Tabla 78 como esquinas reentrantes tomando un valor de  $GC=60$ .

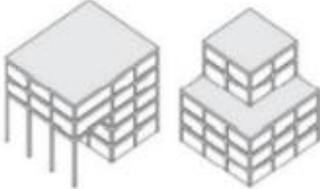
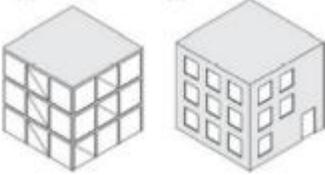
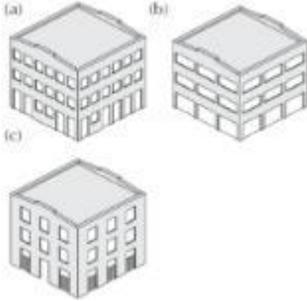
### Irregularidades en Elevación.

La vulnerabilidad estructural se determinará en función de si el edificio refleja las siguientes características de mayor a menor incidencia: retranqueos fuera del plano, pisos blandos, columnas cortas, retranqueos en el plano, muros de sótano no reforzados, terreno irregular severo, niveles divididos y moderado descenso del terreno (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Tabla 79

#### *Irregularidades en Planta*

Condición	Gráfico
Pared de sótano sin refuerzo	
Piso blando y/o débil	

Condición	Gráfico
Retroceso fuera del plano	
Retroceso en el plano	
Columna corta	
Niveles divididos	

*Nota:* Recuperado de (FEMA, 2016).

**Tabla 80**

*Grado de vulnerabilidad por irregularidad en elevación*

Condición	Grado
La edificación es regular	$G_A: 20$

Condición	Grado
La edificación presenta: Desnivel de terreno moderada o niveles divididos	$G_B$ : 40
La edificación presenta: Desnivel de terreno severo (pendiente mayor 14%) o retroceso en el plano o pared de sótano sin refuerzo	$G_C$ : 60
La edificación presenta: Columnas cortas o Piso blando / débil o Retroceso fuera del plano	$G_D$ : 80

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Ampliaciones Verticales y Horizontales

Esta variable surge cuando existe la necesidad de disponer de más espacio en la edificación, por este motivo se realizan ampliaciones verticales u horizontales. El grado de vulnerabilidad se determinará dependiendo de la ampliación.

#### Tabla 81

*Guía para identificar ampliaciones verticales y horizontales*

Orientación	Gráfico
Vertical (1) Planta de menor dimensión que la principal.	
Vertical (2) Más de una planta adicional con la misma configuración en planta y sistema estructural que el edificio original.	

Orientación	Gráfico
Vertical (3) Más de una planta adicional con un sistema estructural diferente	
Horizontal (1) Edificio adicional del mismo tipo constructivo y número de pisos que el original. Dimensión horizontal del edificio estrecho menor o igual al 50% de la longitud del edificio más ancho.	
Horizontal (2) Edificio adicional con diferente altura que el original.	
Horizontal (3) Edificio adicional con diferente tipo de construcción que el original.	
Horizontal (4) Edificio adicional pequeño, que está apoyado en el edificio original para soporte de gravedad.	

*Nota:* Recuperado de (FEMA, 2016).

**Tabla 82***Grados de vulnerabilidad por ampliaciones verticales*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
Estructura no presenta ampliaciones	$G_A: 20$
Ampliación de una planta más pequeña que la principal. Una o más plantas con la misma configuración en planta e igual sistema de construcción	$G_B: 40$
Una o más plantas con la misma configuración estructural que la principal, pero con diferente sistema constructivo	$G_C: 60$
Una o más plantas con diferentes configuraciones que la principal, y diferente sistema constructivo	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

**Tabla 83***Grados de vulnerabilidad por ampliaciones horizontales*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
Estructura no presenta ampliaciones	$G_A: 20$
Ampliación con un mismo sistema constructivo e igual número de plantas	$G_B: 40$
Edificio con igual sistema constructivo, pero con una diferencia de número de plantas. Ampliación con diferente sistema constructivo	$G_C: 60$
Ampliación con diferente sistema constructivo y diferencia en el número de plantas.	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

Las edificaciones de estudio no presentan ninguna ampliación porque no ha existido la necesidad ni cuenta con el espacio para poder lograr una ampliación horizontal.

### ***Patologías en los sistemas estructurales***

Es una parte de la Ingeniería civil que se encarga del estudio de las causas, deterioros, defectos, lesiones y los orígenes que se producen en los sistemas constructivos buscando soluciones y dar una solución mediante un sistema constructivo adecuado para la obra civil.

#### **Patologías en Vigas y Columnas.**

En este parámetro lo más aconsejable es realizar una inspección visual en el caso de ser posible, para poder observar el estado de vigas y columnas; así se podrá identificar el material de los elementos y determinar el grado de vulnerabilidad dependiendo si existen fisuras, grietas o algún tipo de afectación.

#### **Tabla 84**

*Tipos de condiciones para elementos metálicos*

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

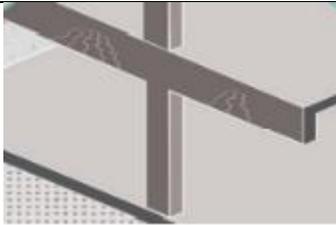
*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

**Tabla 85***Tipos de condiciones para elementos madera*

<b>Tipo I</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo III</b>
Degradación leve de la madera	Degradación parcial de la madera	Degradación grave de madera
Pudrición leve de madera	Aireación diferencial	Pudrición grave de madera
	Pudrición parcial de madera	Juego de uniones
		Efecto de fuego en madera
		Humedad en madera

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

**Tabla 86***Grietas en vigas*

<b>Condición</b>	<b>Gráfico</b>
Grietas en viga por insuficiencia de armadura positiva	
Grietas en viga por insuficiencia de armadura negativa	

Condición	Gráfico
Grietas en viga por corte	
Grietas en viga por retracción del hormigón	

*Nota:* Recuperado de (Souza, 2021) .

En una viga metálica se debe identificar en qué condiciones se encuentra dicho elemento, donde se debe considerar la corrosión como principal patología además se puede identificar otro tipo de patología a criterio del evaluador siempre tomando en cuenta en qué condiciones se encuentra y si esta propenso a producir fallas en la estructura en la tabla 87 se presentan las patologías para vigas según la FEMA P-1000.

**Tabla 87**

*Grado de vulnerabilidad patologías en vigas*

Condición	Grado
Estructura no presenta ampliaciones	$G_A$ : 20
Grietas por retracción de hormigón, afectaciones tipo I (metálica o madera)	$G_B$ : 40
Grietas en vigas por insuficiencia de armaduras positiva o negativa, afectaciones tipo II (metálica o madera)	$G_C$ : 60
Grietas en viga por corte, afectaciones tipo III (metálica o madera), vigas flejadas	$G_D$ : 80

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

De igual manera se identifica las patologías presentes con las columnas tal como lo explica en el párrafo anterior correspondiente a vigas. En la Tabla 88 se muestran las distintas patologías que se pueden presentar en las columnas.

### **Tabla 88**

*Grado de vulnerabilidad patologías en columnas*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
Columnas sin presencia de patologías	$G_A: 20$
Fisuras, afectaciones tipo I (metálica o madera)	$G_B: 40$
Grietas en columnas por represión en la fundación afectaciones tipo II (metálica o madera)	$G_C: 60$
Grietas en columnas por insuficiencia de estribos, afectaciones tipo III (metálica o madera)	$G_D: 80$

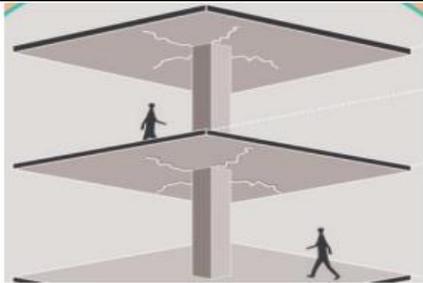
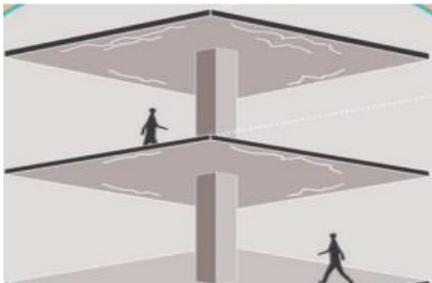
*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

Los Bloques G y H, no presentan ninguna patología tanto en vigas como en columnas, debido a que la edificación fue construida en el año 2010, es decir, no es antigua como para presentar patologías tomando el valor de  $G_A=20$  en la patología de los dos elementos estructurales.

### **Patologías en losas y en cubiertas plantas**

Se debe considerar el tipo de sistema constructivo de las losas entrepisos y las cubiertas. Posterior identificar las patologías, (ver Tabla 89) que se puedan presentar por ejemplo si la losa es de hormigón o losa deck se debe verificar si no existe grietas o fisuras. Según el tipo de patologías presente se le asignará el grado de vulnerabilidad. (ver Tabla 90)

**Tabla 89***Guía para identificar grietas en losas*

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

Nota: Recuperado de (Souza, 2021)

**Tabla 90***Grado de vulnerabilidad por grietas en losas de entrepiso y cubiertas planas*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
Losas sin presencia de patologías	$G_A$ : 20
Fisuras, afectaciones tipo I (metálica, acero, madera)	$G_B$ : 40
Grietas en losa por insuficiencia de armadura, Afectaciones tipo II (metálica, acero, madera)	$G_C$ : 60
Grietas en losas por sobrecarga excesiva, afectaciones tipo III (metálica, acero, madera), deformación de la losa	$G_D$ : 80

Nota: Recuperado de (Souza, 2021)

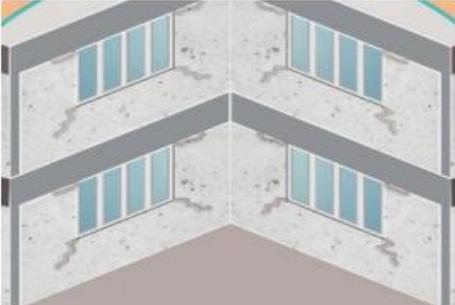
Las condiciones en que se encuentre las losas de entepiso y de cubierta serán calificadas según el criterio del evaluador considerando los puntajes y condiciones de la tabla 90. en ambas edificaciones inspeccionadas no presentan ningún tipo de patología en las losas, por ende, se tomará un valor de  $G_A=20$ .

### Patologías en las paredes

A continuación, se presentará una breve guía de inspección visual para las condiciones de patologías según agrietamientos en paredes.

**Tabla 91**

*Guía para identificar grietas en paredes*

Condición de agrietamiento en paredes	Causas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecargas imprevistas;</li> <li>• Dintel y alféizar inexistentes o mal ejecutados</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unión prematura de la albañilería;</li> <li>• Deficiencia en el método de unión;</li> <li>• Deformaciones de flexión de losas y vigas que soportan las paredes.</li> </ul>



- Tensión de corte

*Nota:* Recuperado de (Souza, 2021)

En la tabla 92 se presenta el grado de vulnerabilidad para patologías en paredes con su respectivo puntaje, en el caso de las edificaciones del presente proyecto no presenta ningún tipo de patologías en las paredes por lo tanto es un  $G_A=20$ .

**Tabla 92**

*Grado de vulnerabilidad por patología en paredes*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### **Grupo de Vulnerabilidad (GV3)**

En este apartado se presenta en forma detallada condiciones que puede presentar las edificaciones que corresponden a elementos no estructurales y al estado de conservación de las estructuras.

#### **Elementos externos no estructurales**

En el caso de existir un movimiento telúrico, se debe tomar en cuenta los elementos no estructurales que posee una estructura. Mismos que puedan caerse y dificultar el acceso de los estudiantes dentro de las instalaciones, algunos elementos no estructurales pueden ser cisternas altas, parapetos, chimeneas, cubiertas, etc. Es por esto que se debe considerar la participación de estos elementos al momento de evaluar la vulnerabilidad sísmica según la FEMA P-1000. En la tabla 93 se presentan las condiciones en las que se presentan los elementos no estructurales externos.

**Tabla 93**

*Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales externos*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
No hay presencia de elementos no estructurales elevados.	$G_A: 20$
Los elementos no estructurales observados se encuentran con adecuada colocación, fijación, o buen empotramiento con la estructura.	$G_B: 40$
Los elementos no estructurales observados se encuentran con inadecuada colocación, fijación, o buen empotramiento con la estructura.	$G_C: 60$
Los elementos no estructurales observados se encuentran con un alto riesgo de caída ante un movimiento sísmico.	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Elementos no estructurales internos

Los elementos no estructurales internos hacen referencia a los elementos que existe dentro de las aulas, oficinas, laboratorios. Dichos elementos puedan ocasionar accidentes u obstaculizar la movilidad de los estudiantes. Los elementos no estructurales internos pueden ser cielos rasos, estanterías, instalaciones eléctricas, etc. que de igual manera se deben considerar para evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

En la tabla 94 se presentan las condiciones en las que se presentan los elementos no estructurales internos.

**Tabla 94**

*Grado de vulnerabilidad de elementos no estructurales internos*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
Los elementos no estructurales internos presentan una adecuada colocación e implementación.	$G_A: 20$
Los elementos no estructurales internos presentan una deficiente colocación e implementación.	$G_B: 40$
Los elementos no estructurales internos presentan una mala colocación e implementación.	$G_C: 60$
Los elementos no estructurales internos se encuentran con un alto riesgo de caída ante un movimiento sísmico.	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Estado de conservación de la edificación

De acuerdo con (Ballesteros & Caizaguano, 2020) exponen que:

El estado de conservación es una condición a criterio del evaluador que permite indicar la situación general de la edificación, en las cuales describe de manera

breve el estado de mamposterías, elementos y sistemas estructurales, también elementos no estructurales que forman parte de la estructura, para ello se tiene 4 niveles, según la apreciación del evaluador.

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

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

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

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

En la tabla 95 se presentan los niveles de estado de conservación que puede presentarse en una edificación.

**Tabla 95**

*Grado de vulnerabilidad por estado de la edificación*

<b>Estado de conservación</b>	<b>Grado</b>
Muy bueno	$G_A: 20$
Bueno	$G_B: 40$
Regular	$G_C: 60$
Deficiente	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Estado de conservación de cubiertas

En este apartado el evaluador determinara mediante una inspección visual el estado en la que se encuentra las cubiertas de la edificación. En la inspección se verificará la tipología de la cubierta y el material.

En la tabla 96 se presentan los niveles de estado de conservación que puede presentarse una o varias cubiertas de una edificación.

**Tabla 96**

*Grado de vulnerabilidad por estado de conservación de cubiertas*

<b>Estado de conservación de cubiertas</b>	<b>Grado</b>
Muy bueno	$G_A: 20$
Bueno	$G_B: 40$
Regular	$G_C: 60$
Deficiente	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Puertas de salida y emergencia

Las puertas de salida y de emergencia son indispensables al momento que ocurra una emergencia y se necesite evacuar inmediatamente el edificio. Es por eso que debe ser evaluado.

De acuerdo al (CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO, 2003):

establecen las normas básicas para las puertas de salida, o salidas de emergencia de edificios las cuales deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Las puertas deben tener un ancho mínimo libre de 0.90 m y altura 2.05 m.
- Las puertas deben contar con un ángulo de apertura máximo entre 135° y 180° y deben ser abatibles hacia el exterior sin que sus hojas obstruyan

pasillos o escaleras. En caso de obstaculizar el paso se recomienda la colocación de puertas corredizas o plegables.

- Se recomienda eliminar y dejar de utilizar las cerraduras tipo pomo, y dar paso a cerraduras tipo palanca o de accionamiento, o automáticas
- En puertas debe dejarse un espacio libre cerca de la apertura (0.45- 0.55 m), la profundidad del espacio libre debe ser de 1.20 adicional al barrido de la puerta.
- Las agarraderas de las puertas y sus cerraduras deben ser fáciles de manipular por las personas con discapacidad y movilidad reducida; las puertas deben tener una barra horizontal ubicada entre 0.80 m. y 1.20 m (de preferencia 0.90 m) a nivel del suelo.

Se considera el mejor grado de vulnerabilidad al mayor porcentaje de puertas que cumplan con los requisitos mencionados. Caso contrario se deberá informar y recomendar el cumplimiento. En la tabla 98 se presenta las condiciones de las puertas de salida y emergencia que contiene en una edificación.

**Tabla 97**

*Grado de vulnerabilidad por puertas de salida o emergencia*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
75 – 100% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	$G_A$ : 20
50 – 74% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	$G_B$ : 40
25 – 49% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	$G_C$ : 60
0 – 24% de las puertas cumplen con los requisitos básicos	$G_D$ : 80

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020)

## Ventanas

Las ventanas en ciertos casos se pueden considerar como salida de emergencia si las puertas de salida y emergencia se encuentran colapsadas al momento de evacuar a todo el personal del edificio. Para edificaciones destinadas a aulas se debe recomendar que los vidrios sean templados por la forma en que el material puede desprenderse sin ocasionar mucho daño y de forma rápida destruirla si es el caso.

Se considera el mejor grado de vulnerabilidad al mayor porcentaje de ventanas que cumplan con los requisitos de criterio y diseño. Caso contrario se deberá informar y recomendar el cumplimiento. En la tabla 98 se presenta las condiciones de las ventanas presentes en una edificación.

**Tabla 98**

*Grado de vulnerabilidad por ventanas*

<b>Condición</b>	<b>Grado</b>
75 – 100% cumplen con los requisitos básicos	$G_A: 20$
50 – 74% cumplen con los requisitos básicos	$G_B: 40$
25 – 49% cumplen con los requisitos básicos	$G_C: 60$
0 – 24% cumplen con los requisitos básicos	$G_D: 80$

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

## Accesibilidad inclusiva

Las edificaciones destinadas a la educación deben cumplir ciertos requisitos básicos e importantes para considerarse inclusivos, para estudiantes y demás personal con discapacidades como por ejemplo que usen sillas de ruedas, personas con discapacidades auditivas y visuales.

Se considera el mejor grado de vulnerabilidad si se identifican satisfactoriamente cumplir con todas las normas establecidas a la accesibilidad inclusiva. Caso contrario se

deberá informar y recomendar el cumplimiento. En la tabla 99 se presenta las condiciones de las ventanas presentes en una edificación.

**Tabla 99**

*Grado de vulnerabilidad por accesibilidad inclusiva*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### **Puntaje del Grado de Vulnerabilidad**

El evaluador a partir del puntaje de grado de vulnerabilidad puede definir qué tan deficientes se encuentran las condiciones de la estructura analizada y si se debe tomar medidas inmediatas para mitigar daños.

Para determinar la magnitud del Puntaje de Vulnerabilidad (V), se debe sumar el Puntaje Base (P. Base) a la suma de cada Grupo de Vulnerabilidad (GV) detallado anteriormente.

$$V = P. Base + GV \quad (33)$$

Cada grupo de vulnerabilidad es multiplicado por un factor de influencia (I) que varía según del P. Base y del GV al que pertenece. Los grupos (GV1 y GV2) son más importante que otros (GV3).

**Tabla 100**

*Factor de influencia para GV en función del puntaje base*

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

*Nota.* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

El valor final de la suma de los grupos de vulnerabilidad (GV) se determina por:

$$GV = I_{GV1} * G_{V1} + I_{GV2} * G_{V2} + I_{GV3} * G_{V3} \quad (34)$$

**Tabla 101**

*Grado de vulnerabilidad sísmica*

Rango	Grado de Vulnerabilidad (V)	Observaciones
60 < valor ≤ 80	Alto	Debe realizarse un análisis estructural
40 < valor ≤ 60	Medio	Evaluar mediante FEMA P-154, para descartar o confirmar la realización de un análisis estructural

20 < valor ≤ 40	Bajo	Tomar las recomendaciones emitidas por los evaluadores
-----------------	------	--

*Nota.* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### **Capacidad de respuesta (Cr)**

Para determinar el valor de la capacidad de respuesta (Ballesteros & Caizaguano, 2020). Aplicaron un formato con un máximo de 80 puntos y una puntuación de 0, como indicador del conocimiento de cómo actuar frente a una emergencia.

El presente caso en ser los Bloques G y H se va analizar su valor de capacidad de respuesta a partir de la tabla de grado de capacidad de respuesta.

### **Tabla 102**

*Grado de Capacidad de Respuesta*

<b>Rango</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad (V)</b>	<b>Observaciones</b>
20 < valor ≤ 40	Bajo	Reformular inmediatamente el POE, equipo de planificación. Mantener reuniones diarias para maximizar el nivel de capacidad
40 < valor ≤ 60	Medio	Reformular aspectos relevantes que puedan aumentar el nivel de capacidad. Mantener reuniones constantes para identificar las debilidades.

60 < valor ≤ 80	Bajo	Mantener el Plan de Operación de Emergencia, reforzarlo anualmente, y mantener reuniones esporádicas.
-----------------	------	---

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

### Elemento del terreno (E)

Este valor analiza las características topográficas de cada edificio dentro de la estructura completa utilizando un método de promedio ponderado difuso.

Para la selección de los elementos del terreno se utilizó la siguiente tabla:

**Tabla 103**

*Grado de Capacidad de Respuesta*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

A partir de la Tabla 104 se determinó el valor para los Bloques G y H entra en el uso de aulas, con una población de más de 100 personas. Las edificaciones de estudio diariamente reciben a aproximadamente 500 personas entre alumnos y personal administrativo.

### **Nivel de exposición de la amenaza (NE)**

Este parámetro nos determina una calificación cualitativa dependiendo de la siguiente rúbrica:

**Tabla 104**

*Nivel de exposición a la amenaza*

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

Al encontrarse los Bloques G y H ubicadas en Sangolquí poseen un alto riesgo sísmico, debido a que la ciudad está situada en el valle interandino, por esta razón se toma el nivel de exposición a la amenaza (NE) “Muy Alta”, con un valor de 1,0.

### Vulnerabilidad total

Para establecer el valor de la vulnerabilidad total por Bloque de estudio, Ballesteros, K., & Caizaguano, D. (2020) aplican un método tradicional para combinar información difusa con diferentes pesos o importancia, llamado promedio ponderado difuso. Este valor se cuantifica con la siguiente expresión matemática:

$$V_{total} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (35)$$

Donde:

V total es la vulnerabilidad significativa de todo el establecimiento escolar

V<sub>i</sub> grado de vulnerabilidad de cada edificación.

E<sub>i</sub> importancia de la edificación de acuerdo al número de ocupantes

### Coefficiente de capacidad

Por ser la evaluación de los Bloques G y H, el valor de capacidad de respuesta es de 55, por lo cual se aplica la fórmula para el coeficiente de capacidad Cr cuando es mayor a 55.

$$C = \frac{(Cr + 100) * (170 - Vt)}{13500} \quad (36)$$

Donde:

Cr Capacidad de respuesta

Vt Vulnerabilidad Total de la estructura

### Riesgo global (Rg)

Finalmente, las unidades militares se clasificarán en función de los datos obtenidos sobre vulnerabilidades, capacidades y riesgos, asignándose cinco categorías (A-F) en función de los riesgos que representen.

**Tabla 105**

*Categoría de unidades militares según el Riesgo Global*

<b>Nivel de Riesgo Global</b>	<b>Estimación del Riesgo Global</b>	<b>Descripción</b>	<b>Categ.</b>
Rg≤15	Bajo	No se identifica un riesgo global relevante. El riesgo global está controlado. Las medidas preventivas existentes reducen eficientemente el riesgo.	A
15<Rg≤30	Moderado	Se ha detectado que existe entre el 6% y 22% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que se debe implementar medidas preventivas que puedan reducir de forma apreciable los potenciales riesgos	B
30<Rg≤45	Moderado Alto	Se ha detectado que existe entre el 22% y 45% de características desfavorables que se pueden mejorar dentro de la unidad educativa por lo que debe implementarse medidas preventivas más estrictas ya que	C

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

*Nota:* Recuperado de (Ballesteros & Caizaguano, 2020)

**Resultados**

$$P \text{ base} = 22,5$$

$$GV = I_{GV1} * G_{V1} + I_{GV2} * G_{V2} + I_{GV3} * G_{V3}$$

$$GV = 44 * 0,225 + 26,67 * 0,1125 + 34,29 * 0,0375$$

$$GV = 36,69$$

$$V = P. \text{Base} + GV$$

$$V = 22,5 + 14,19$$

$$V = 36,69$$

A partir de la tabla de grado de vulnerabilidad sísmica el valor de  $V = 36,69$  entra en el rango de  $20 < V \leq 40$ , es decir el grado de vulnerabilidad es bajo y como observación se debe tomar las recomendaciones emitidas por los evaluadores.

**Tabla 106***Vulnerabilidad total de los Bloques*

Edificación	Uso	V	E	V*E	VT
E1	BLOQUE G	36,69	6	220,11	37,24
E2	BLOQUE H	37,80	6	226,80	
TOTAL		74,49	12,00	446,91	

**Tabla 107***Riesgo Global*

Parámetro	Valor	Observación
Capacidad de Respuesta (Cr)	55	
Nivel de exposición (NE)	1	
Coficiente de capacidad (C)	1,52	
Riesgo Global (Rg)	24,43	<b>MODERADO - B</b>

## Observaciones

La metodología FEMA P-1000, es importante aplicarla como las demás metodologías, esta contiene parámetros distintos como son las patologías que pueden estar presentes en las estructuras, dichas patologías también son un parámetro importante analizar y de ser el caso que se presente en la edificación puede ser un causante de riesgo al momento de existir un evento sísmico.

Para el grado de vulnerabilidad Gv3, considera las condiciones en que se encuentran los elementos no estructurales exteriores e interiores, el estado de la cubierta, si en la edificación existen puertas de salida o de emergencia, la calidad de ventanas y si cuenta con accesibilidad inclusiva, son parámetros que en el resto de metodologías aplicadas no fueron calificadas.

La accesibilidad inclusiva es evaluada con respecto a si la edificación cuenta con rampas y espacios para personas discapacitadas también se evalúa si los espacios cumplen con las dimensiones dispuestas por la ordenanza correspondiente, de igual manera se procede a evaluar las salidas de emergencia. Es muy indispensable que en los establecimientos educativos cuenten con estos parámetros debido a que albergan estudiantes y personal de toda condición.

Estos parámetros que han sido nombrados son fundamentales para poder tener un análisis más a fondo de la estructura y tener una calificación más confiable para determinar la vulnerabilidad estructural. La metodología FEMA P-1000 está diseñada exclusivamente para realizar la inspección visual en estructuras destinadas a la educación es por eso que fue aplicada en los Bloques G y H, de la universidad de las Fuerzas Armadas UFA-ESPE.

### Comparación de los resultados

La Tabla 108 consolida los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad estructural de ambos bloques de laboratorios y aulas de computación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a través de la aplicación de las tres metodologías, NEC-2015, FEMA P-154, FUNVISIS, FEMA P-1000.

**Tabla 108**

*Resultados de la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones.*

Metodología	Parámetro	Valor	Descripción	Acción
NEC-2015	Calificación	2.5	2.5 > S > 2.0	Evaluación cuantitativa.
			Alta vulnerabilidad	
FEMA P-154	Calificación	0.8	S < 2	Evaluación cuantitativa.
			Alta vulnerabilidad	
FUNVISIS	Índice de Vulnerabilidad	20,45	vulnerabilidad "Medio Bajo"	Evaluación cuantitativa y toma de decisiones.
	Índice de Riesgo	18,41	Riesgo "Medio Bajo"	
	Índice de Priorización	16,56	priorización "P7"	
FEMA P-1000	Vulnerabilidad sísmica	36,39	20 < V ≤ 40 Bajo grado de Vulnerabilidad	Toma de decisiones

<b>Metodología</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Acción</b>
	Vulnerabilidad sísmica Total	37,24	Bajo grado de Vulnerabilidad	Toma de decisiones implementar medidas preventivas que puedan reducir de forma apreciable los potenciales riesgos
	Riesgo Global	24,43	$15 < R_g \leq 30$ Moderado – B	

## **Capítulo 5**

### **Ensayos de instrumentación sísmica**

#### ***Descripción***

Esta sección presenta los resultados del registro y procesamiento de las pruebas de instrumentos realizadas en los bloques G y H de la UFA-ESPE que son usados como aulas y laboratorios de computación y de biotecnología. El objetivo principal de esta sección es determinar por medio de equipos de alta sensibilidad las propiedades dinámicas de la estructura, como la frecuencia, el período y los modos fundamentales de vibración; todas estas propiedades se compararán y validarán con los modelos analíticos desarrollados para la estructura en el siguiente capítulo.

Equipos y accesorios uno de los factores que incide al momento de realizar este ensayo es su sensibilidad, ya que el ensayo registrara la vibración en función al número de pisos que tenga la edificación.

#### **Equipos y materiales**

##### **Fuente de poder**

Los equipos empleados en este ensayo ocupan corriente eléctrica, por lo que es necesario contar con tomacorrientes cercanos o extensiones de corriente para conectar los equipos (Arcentales & Yépez, 2020).

Para el funcionamiento de los equipos es necesario un dispositivo que sea capaz de conducir la corriente eléctrica del equipo a los tomacorrientes, donde se realice el ensayo.

##### **Dispositivo de adquisición de datos (DAQ)**

Se lo conoce como chasis y es usado para conectar los sensores que usan este equipo a la computadora con ayuda de un puerto USB. Los módulos de entrada y salida de vibraciones que contiene se encargarán de almacenar los datos. En otras palabras, estos dispositivos son: "Este dispositivo constituye el conector entre los sensores y el

computador mediante un puerto USB, cuenta con módulos que se encargan de registrar y almacenar las lecturas que realicen los sensores. Estos módulos cuentan con cuatro canales cada uno” (Arcentales & Yépez, 2020) (ver Figuras 103 y 104)

### **Sensores**

Los sensores que se utilizan se denominan acelerómetros de alta sensibilidad y bajo ruido sísmico, los cuales están diseñados para registrar la aceleración que produce cada piso según donde sea colocado. Estos sensores cuentan con una calibración periódica, esto evita alteraciones al momento de recopilar la información, ya que su sensibilidad misma es un factor que interviene al momento de registrar los datos (Arcentales & Yépez, 2020) (ver Figura 105).

### ***Software para registro y procesamiento de datos***

#### **Computadora portátil**

Es necesario el uso de un computador compatible con el software Signal Express, el cual permitirá la adquisición y análisis de datos, y el software NI DAQmx, el cual reconocerá si está conectado de manera correcta el dispositivo de adquisición de datos (Arcentales & Yépez, 2020).

#### **Cables, alambres y conectores**

Los cables son coaxiales, uno de tipo BNC el cual conectara el sensor y el DAQ entre sí y el cable de tipo RG58 son utilizados para incrementar la longitud de conexión, cuando sea necesario en caso de que algún sensor se encuentre distante del DAQ. (Arcentales & Yépez, 2020) (ver Figuras 107 y 108).

#### **Conectores**

Son adaptadores BNC hembra-hembra empleados para unir los cables tipo RG58 cuando los sensores se encuentran a una distancia considerable (Arcentales & Yépez, 2020).

### Cubos metálicos

Serán utilizados como soportes para los sensores. (Arcentales & Yépez, 2020) (ver Figura 109).

**Figura 102**

*Cables conectores para la fuente de poder y el computador.*



**Figura 103**

*Dispositivo de adquisición de datos National Instruments*



**Figura 104**

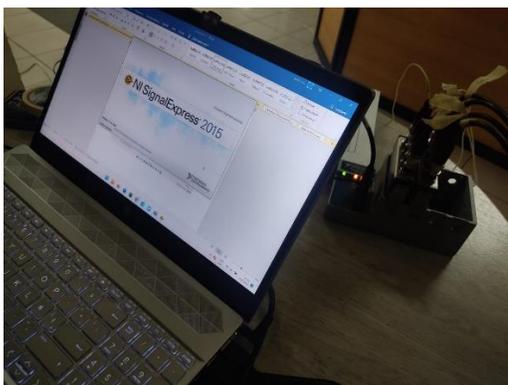
*Módulo para 4 canales, National Instruments*

**Figura 105**

*Acelerómetro piezométrico*

**Figura 106**

*Computadora portátil*

**Figura 107**

*Cable coaxial, conexión BNC, 50 Ohm, conexión sensor a DAQ*



**Figura 108**

*Extensión de cable. Cable coaxial  
conector de 50 pies.*

**Figura 109**

*Cubos metálicos*



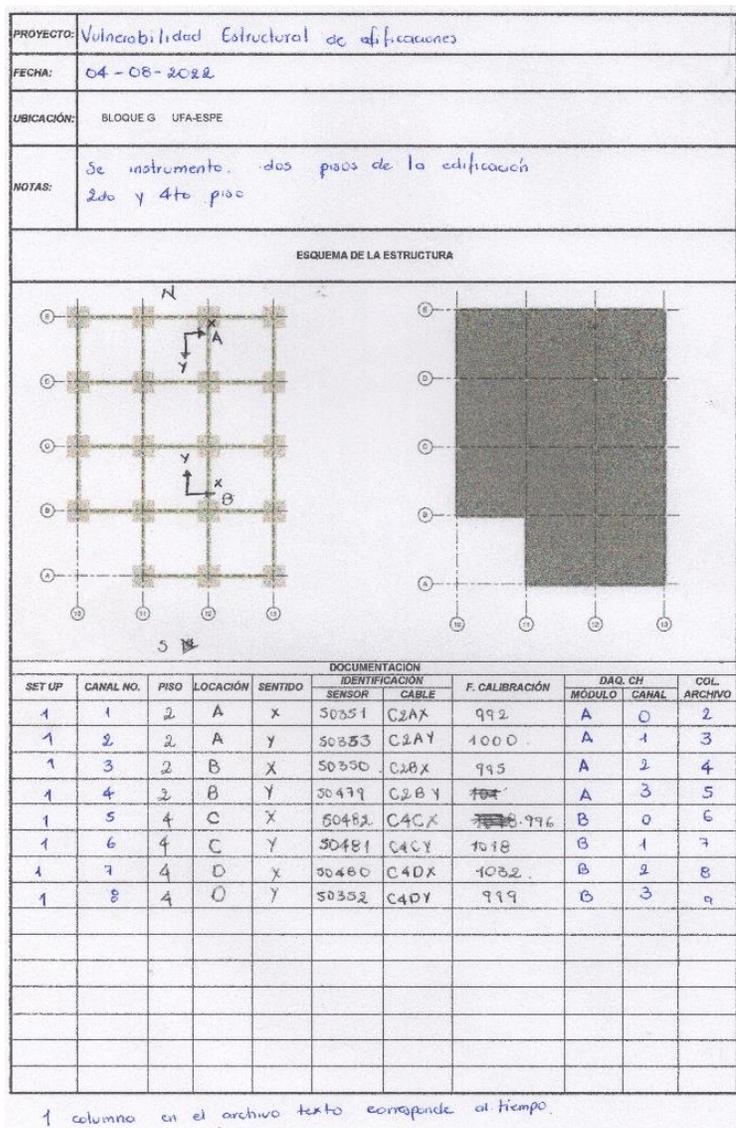
### **Procedimiento**

Primeramente, se debe precisar en qué plantas y en que columnas se colocará el equipo para que haga las respectivas tomas de datos, por lo que será necesario un esquema en planta y de ser necesario en elevación para determinar donde se ubicará los sensores.

Se realizaron dos ensayos diferentes uno en el Boque G y otro en el Bloque H. En el bloque G se escogió realizar el ensayo en el segundo y cuarto piso mientras que en el bloque H se escogieron el segundo piso y tercer piso, debido a que no había acceso al cuarto piso al momento de realizar el ensayo. Se escogieron estos pisos porque los desplazamientos y vibraciones son mayores, a diferencia de la planta baja donde prácticamente nulas. Para esto se llena un formato llamado "Metadata". (ver Figura 110)

Figura 110

Metadata de las edificaciones. a) Bloque G, b) Bloque H



(a)



colocados dos por piso, uno en una columna perimetral y el otro en una de las columnas centrales, visto desde planta.

Para evitar daños en la mampostería donde serán colocados los acelerómetros al momento de pegar los cubos en lo más cercano de la unión viga-columna, se colocó cinta adhesiva en la superficie para poder pegar los cubos con ayuda de un pegamento fuerte, denominado brujita. Ya una vez colocados los cubos (dos por piso), se podrá colocar los sensores y de este modo al momento de retirar no existirá ningún daño en cuanto a la pintura (ver Figura 111). Los acelerómetros serán colocados dos por piso, uno en una columna perimetral y el otro en una de las columnas centrales, visto desde planta.

Se necesitó 8 sensores para realizar el ensayo en cada edificación, cuatro en el piso común donde se encuentra el dispositivo de adquisición de datos (DAQ) y el computador para registrar los datos y cuatro más en el piso superior dependiendo la estructura. Fue necesario la ayuda de los cables tipo EG58, ya que se debía conectar los sensores del tercer piso en caso del bloque G y del segundo piso en caso del Bloque H al dispositivo de adquisición de datos (DAQ), que se encontraba conectada al computador en el primer piso (ver Figura 112).

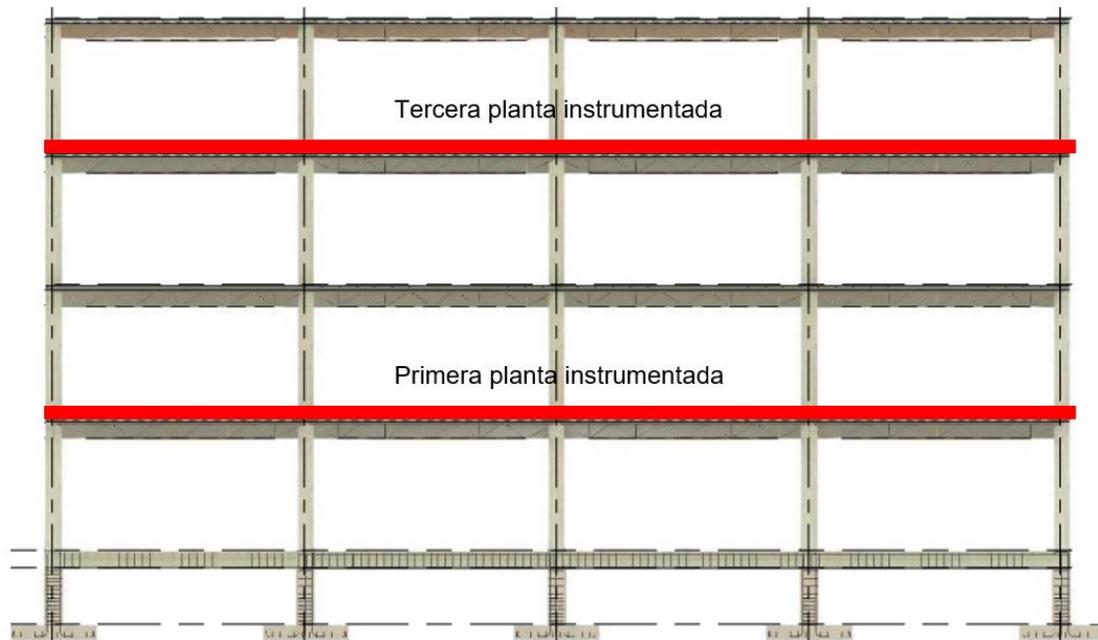
### Figura 111

*Colocación de acelerómetros en lo mas cercano de union viga-columna.*

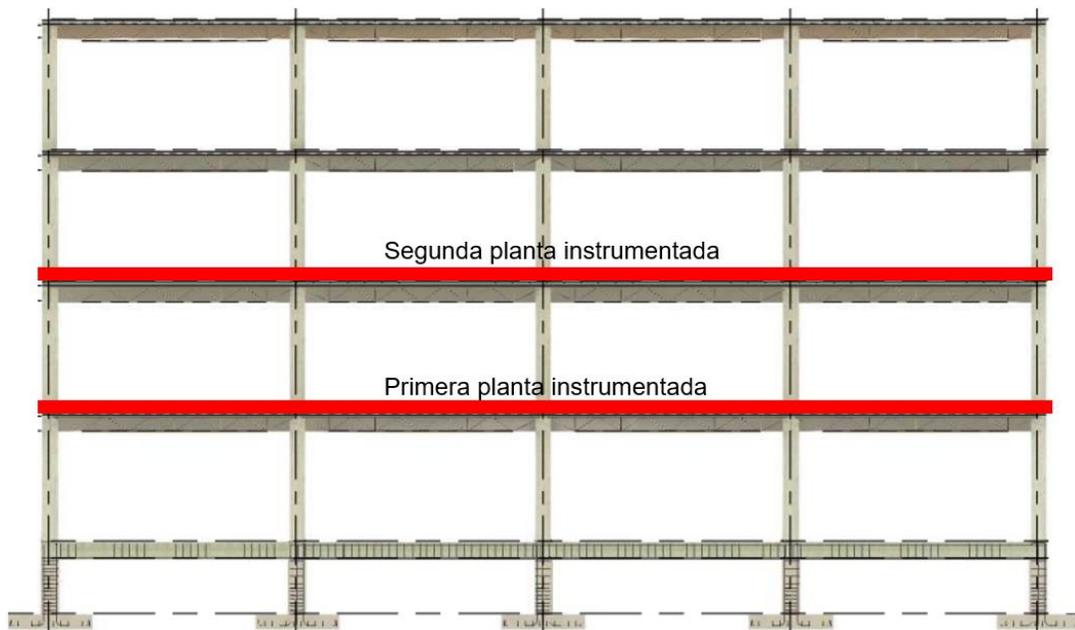


**Figura 112**

Vista en elevación de la ubicación de los acelerómetros. a) Bloque G, b) Bloque H



(a)



(b)

Es importante en caso de usar los sensores en otros pisos marcar los extremos de los cables con identificación para saber en qué sentido se colocó el sensor y saber a cuál pertenece. En este caso se colocó con ayuda de cinta masking la identificación de cada cable.

Fueron necesarios usar 8 cables de tipo (BNC) para conectar los sensores al dispositivo de adquisición de datos (DAQ) (ver Figura 113). Dos cables tipo BNC por punto, ya que cada sensor al que se le conecta el cable representa un sentido uno en X y otro en Y. Se comprueba que estén bien realizadas todas las conexiones y se procede a registrar los datos.

### **Figura 113**

*Sensores conectados al DAQ*



Para el registro de datos se tomó durante 30 minutos la lectura de las señales, cada 3 minutos creaba un listado con los datos recaudados en ese lapso. Parábamos este proceso al tener registrados 10 archivos de texto, con todos los datos. Los datos adquiridos dependerán en gran medida de la configuración que se le haya dado al software de lectura.

## Procesamiento e Interpretación de datos

### **Software Signal Express**

Es el software que nos permite hacer la recolección de datos, nos permite ver las señales que va alcanzando al momento de hacer el ensayo. Finalmente, el software MATLAB será el que nos permitirá determinar las frecuencias en la que vibra las edificaciones. A continuación, se muestra la Figura 115, la lectura de datos en el software Signal Express, al momento de ser ensayado el primer piso y tercer piso del Bloque G de aulas y primero y segundo piso del bloque H.

## Procesamiento de datos

### **Software Signal Express**

Es el software que nos permite hacer la recolección de datos, nos permite ver las señales que va alcanzando al momento de hacer el ensayo. Finalmente, el software MATLAB será el que nos permitirá determinar las frecuencias en la que vibra las edificaciones.

A continuación, se muestra la Figura 114, la lectura de datos en el software Signal Express, al momento de ser ensayado el primer piso y tercer piso del Bloque G de aulas.

### **Figura 114**

*Recolección de Datos de las edificaciones*



### Software Geopsy

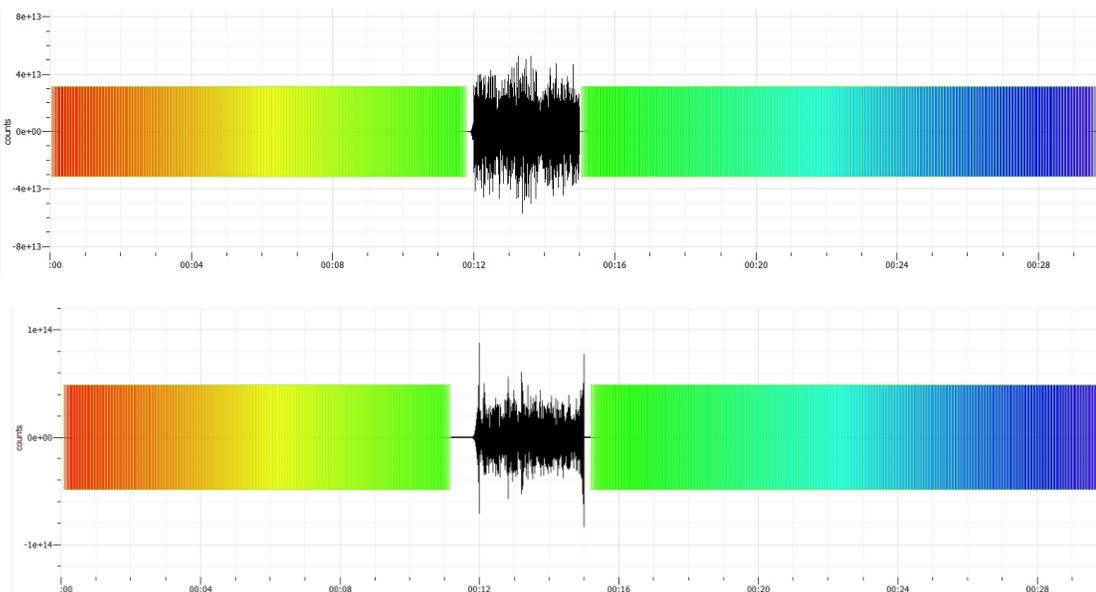
Para procesar los datos registrados en el ensayo se utilizará el software Geopsy, el cual nos permitirá obtener el valor de algunas frecuencias de los sensores ubicados en caso del Bloque G en el piso 3 y en el bloque H en el piso 2, siendo los pisos más altos donde se instrumentó cada edificación. Las frecuencias obtenidas nos servirán como indicio para procesar los datos en el software MATLAB. Los sensores al recibir lecturas tanto del sentido X como Y, se va obtener la frecuencia a la que vibra cada edificación en distintos sentidos.

#### Sentido X

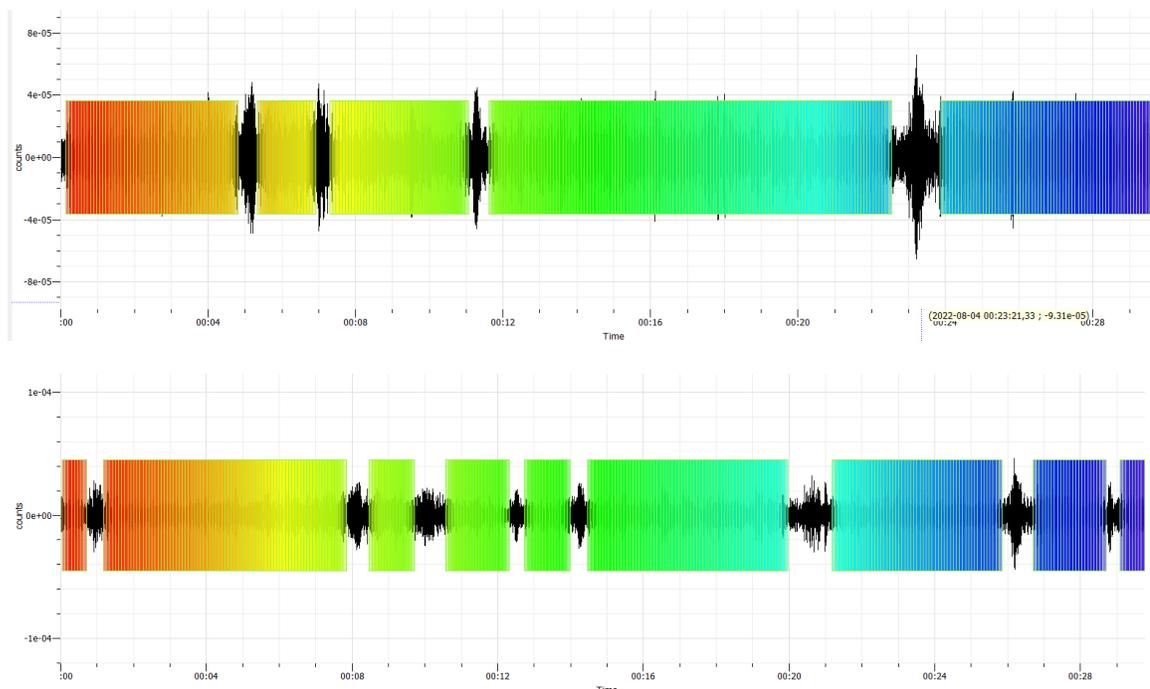
Se procederá a procesar los datos obtenidos en sentido "X" de dos de los sensores ubicados en el piso 3 en caso del Bloque G y en el piso 2 en caso del Bloque H (ver Figura 115).

#### Figura 115

Proceso de ventaneo en sentido X; a) Bloque G, b)Bloque H



a)



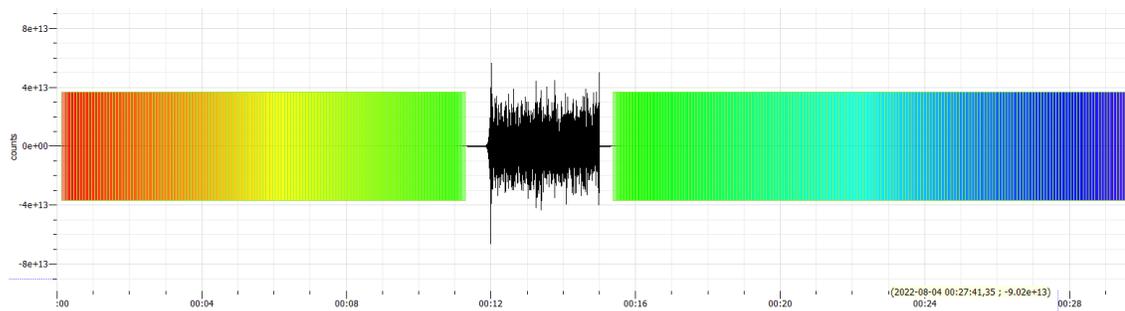
b)

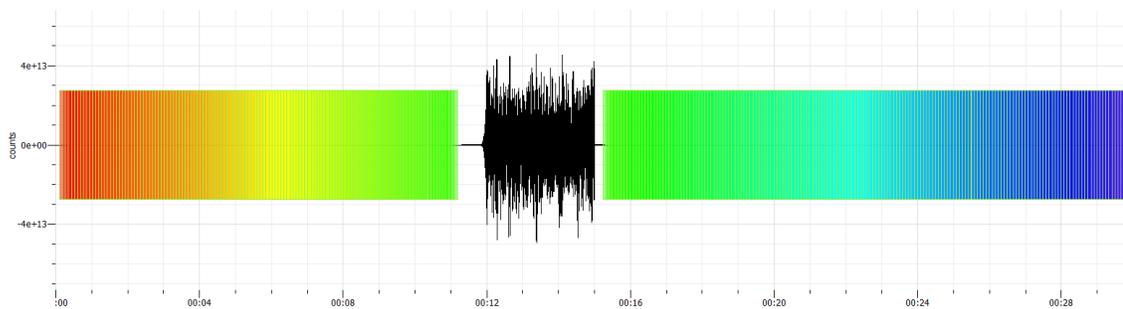
### Sentido Y

De igual manera se procederá con los datos obtenidos en sentido “Y” de dos de los sensores ubicados en el piso 3 en caso del Bloque G y en el piso 2 en caso del Bloque H (ver Figura 116).

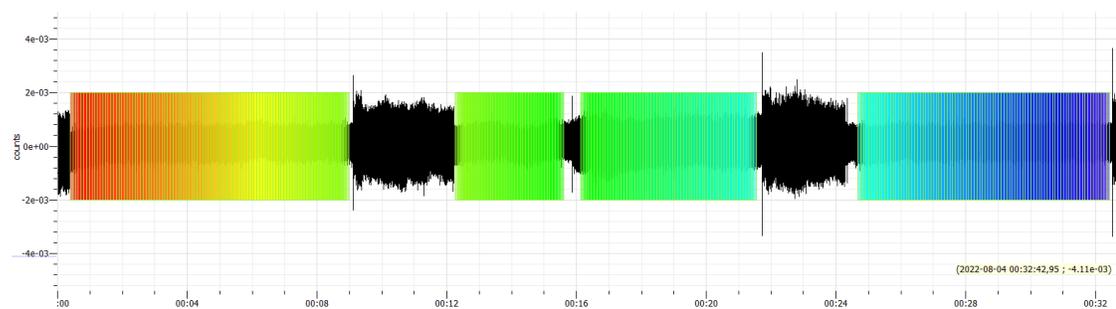
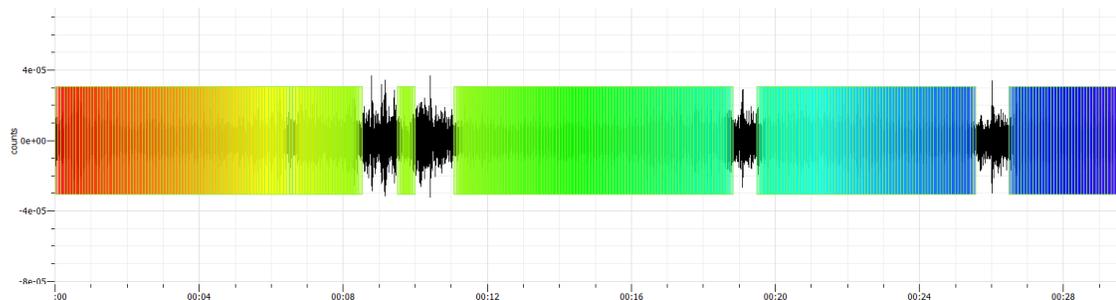
### Figura 116

Proceso de ventaneo en sentido Y; a) Bloque G, b) Bloque H





a)



b)

### **Software MATLAB**

Al utilizarse los 8 sensores en el ensayo, obtendremos un registro con 9 columnas de datos, donde la primera columna representará el tiempo en que se registraron los datos. Por cuestión de tiempo se realizó solamente una combinación por edificación.

### **Combinación Bloque G: Piso 1 – Piso 3**

La manera en que se distribuyó los sensores en esta edificación fue de la siguiente, manera: 4 que corresponden al piso 1, tomando en cuenta la planta baja. En

este piso además de los sensores, se coloca el resto del equipo, el computador y el dispositivo de adquisición de datos (DAQ), los cuales estarán conectados a los sensores y los otros 4 sensores corresponden al piso 3, el cual es el piso más alto que se trabajó. La información obtenida de este ensayo, será procesada en este apartado.

### **Combinación Bloque H: Piso 1 – Piso 2**

La manera en que se distribuyó los sensores en esta edificación fue de la siguiente, manera: 4 que corresponden al piso 1, tomando en cuenta la planta baja. De igual manera que en la otra edificación, se coloca en este piso el resto del equipo, los otros 4 sensores corresponden al piso 2, a diferencia de la otra edificación no se realizó en el último piso debido a que no se permitía el ingreso al momento de realizar el ensayo. La información obtenida de este ensayo, será procesada en este apartado.

Para seleccionar los registros con los cuales se procesará la información se seleccionará de manera visual aquellos que mantenga una mejor homogeneidad en sus lecturas y que presenten mejor calidad.

#### **Tabla 109**

*Selección de señales obtenidas de los acelerómetros en la configuración de cada de cada edificación para procesamiento en el programa MATLAB*

<b>Bloque</b>	<b>Registros</b>
G	12
H	13

### **Resultados**

#### **Software Geopsy**

El software Geopsy nos dará como resultado el espectro de respuesta de cada señal, tanto en sentido X como en Y de los datos recolectados por los 4 sensores. Dado

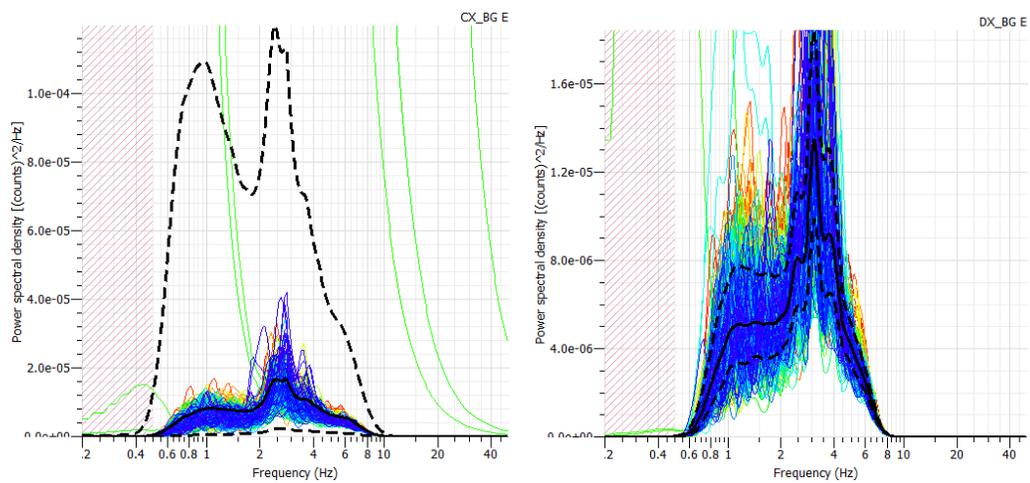
el espectro de respuesta se podrá determinar el valor de la frecuencia, siendo este el pico más alto de cada señal.

### Sentido X

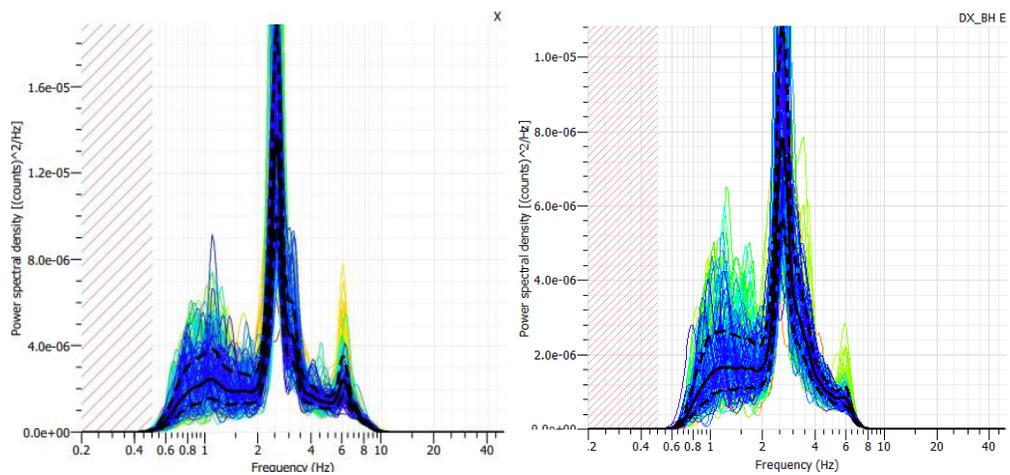
Como se indicó se obtuvo el espectro de respuesta de los dos sensores en sentido "X" ubicados en el piso 3 en caso del Bloque G y en el piso 2 en caso del Bloque H (ver Figura 117).

**Figura 117**

Espectro de respuesta para cada ventana en sentido X; a)Bloque G, b)Bloque H



a)



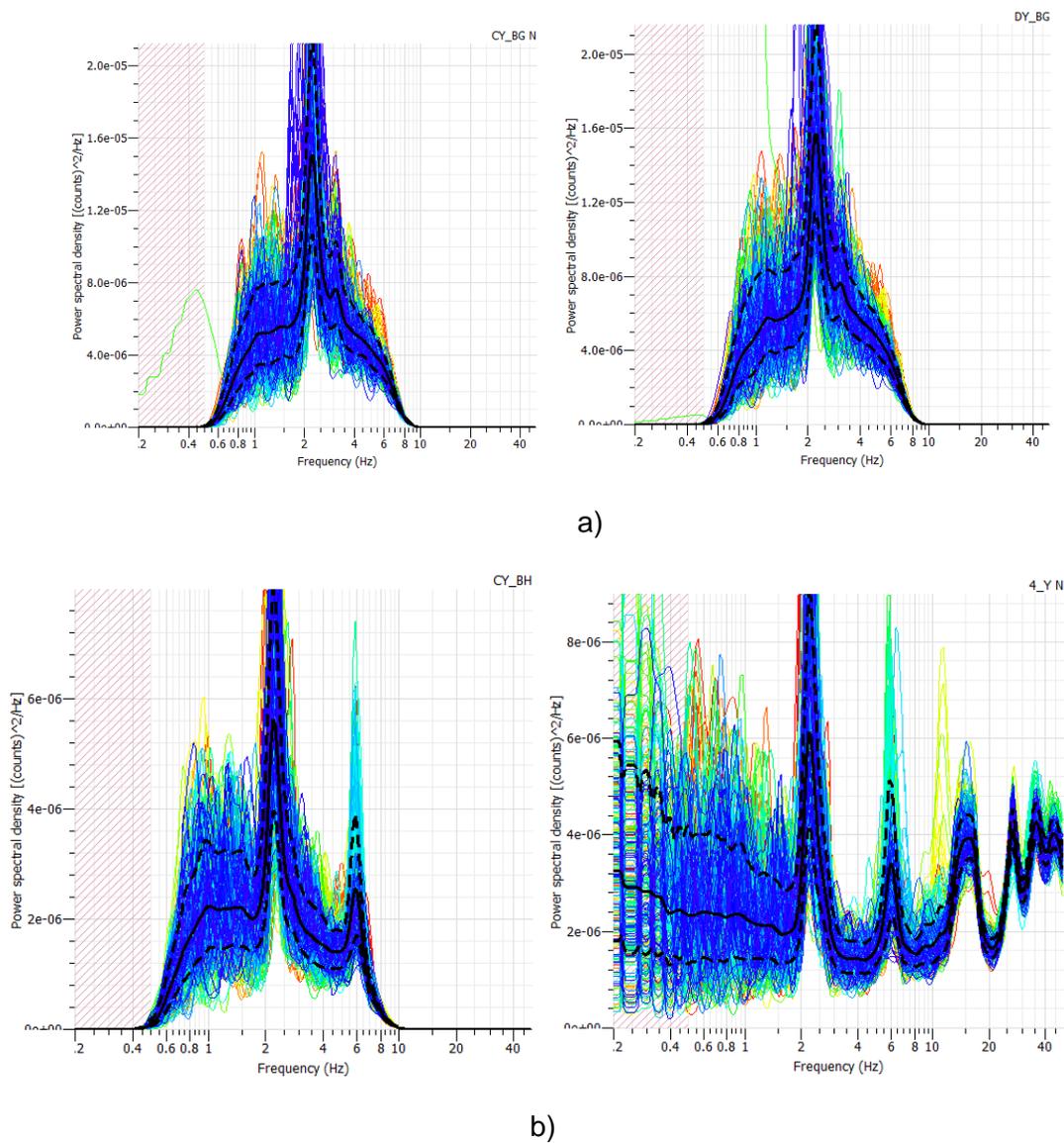
b)

## Sentido Y

De igual manera se obtuvo el espectro de respuesta de los dos sensores en sentido "Y" ubicados en el piso 3 en caso del Bloque G y en el piso 2 en caso del Bloque H (ver Figura118).

**Figura 118**

Espectro de respuesta para cada ventana en sentido Y; a)Bloque G, b)Bloque H



Una vez obtenidos el espectro de respuesta se podrá localizar el valor de frecuencia ubicada en el pico más alto en cada sentido, dado por los 4 sensores ubicados en cada edificación.

**Tabla 110**

*Frecuencias obtenidas en el programa Geopsy*

BLOQUE	Frecuencia 1 [Hz]	Frecuencia 2 [Hz]	Frecuencia 3 [Hz]
G	2,3742	2,5500	2,9317
H	2,2433	2,3333	2,6510

### **Software MATLAB**

El software nos permitirá transformar el registro de datos en matrices que sea capaz de leer y cargar el software. El software leerá matrices conformadas por 9 minutos por cada una de las configuraciones, ya cargada esta información deberemos obtener el vector tiempo para poder usar las demás herramientas, como son filtrado de datos, ventaneo, transformada de Fourier, función de transferencia (TF), espectro cruzado de potencia (CPS) y densidad de potencia espectral (PSD).

### **Combinación Bloque G: Piso 1 – Piso 3**

En las figuras 121 y 122 se podrá visualizar las herramientas de identificación correspondiente al Bloque G en sentido “X” y “Y”,

Figura 119

Herramientas de identificación para la configuración Bloque G en sentido X

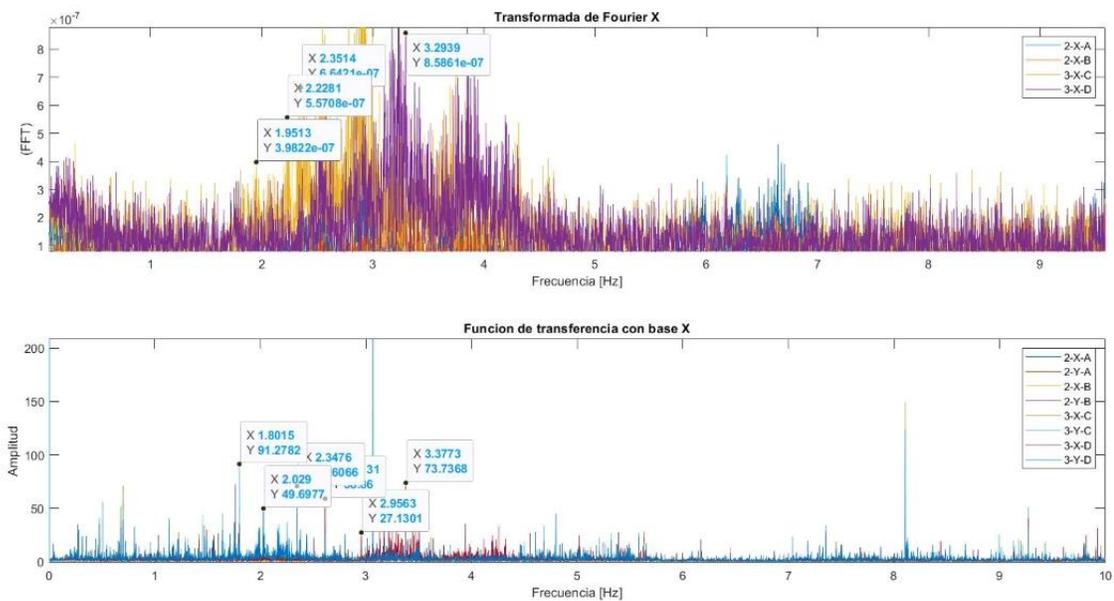
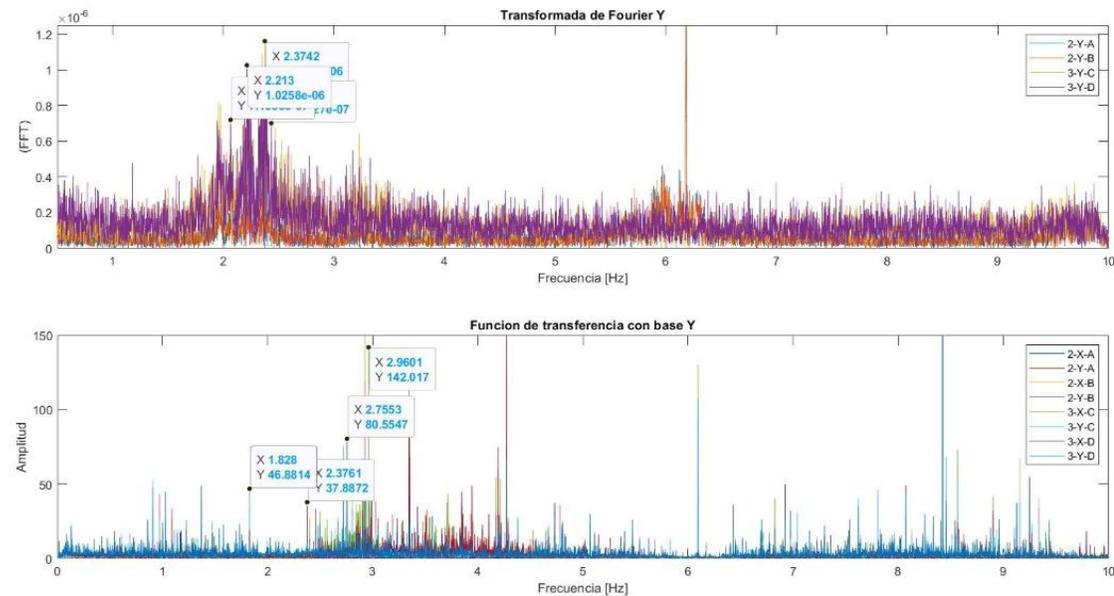


Figura 120

Herramientas de identificación para la configuración Bloque G en sentido "y"

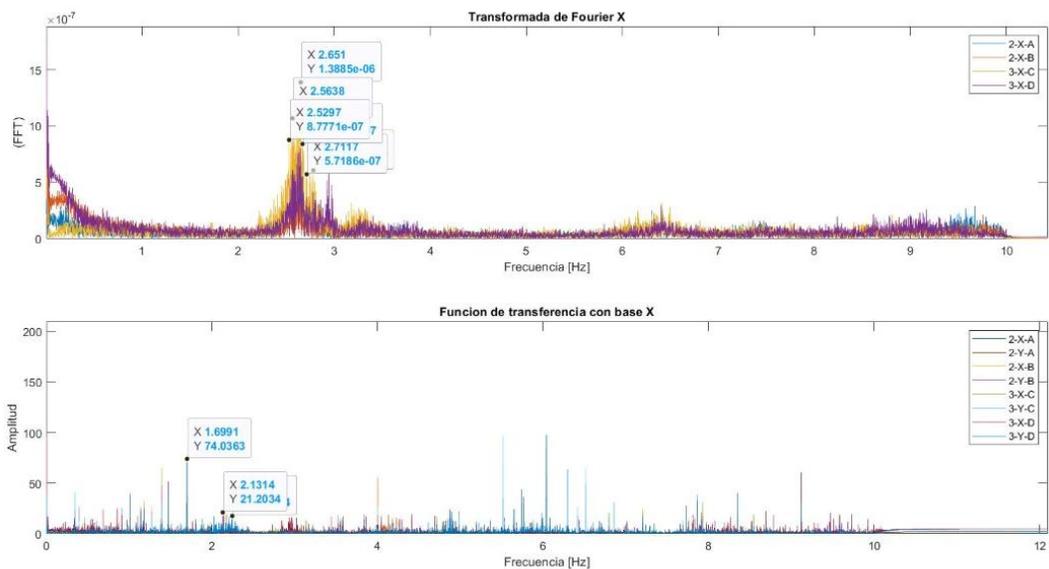


## Combinación Bloque H: Piso 1 – Piso 2

En las figuras 123 y 124 se podrá visualizar las herramientas de identificación correspondiente al Bloque H en sentido “X” y “Y”,

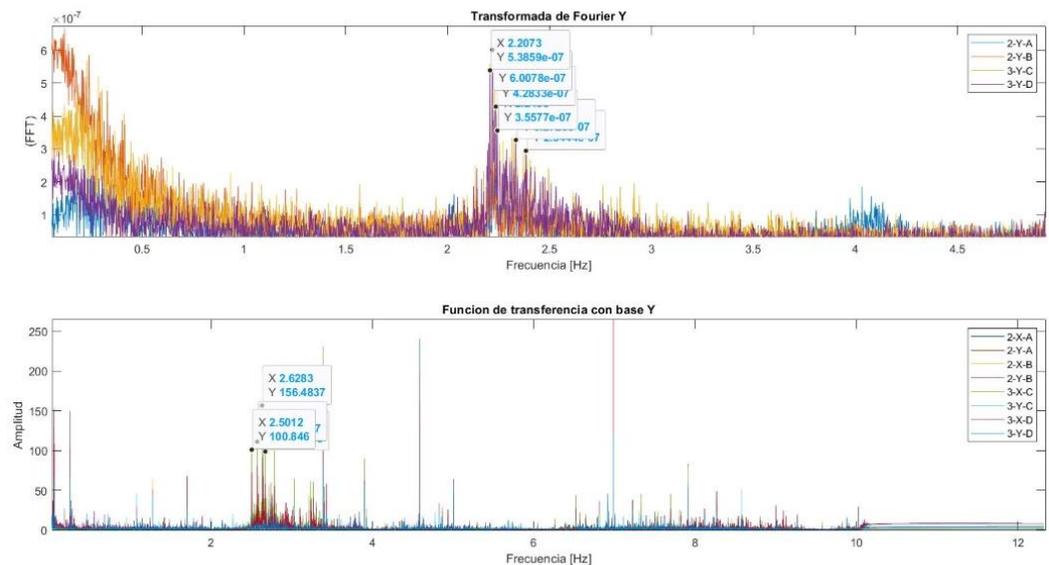
**Figura 121**

*Herramientas de identificación para la configuración del Bloque H en sentido X*



**Figura 122**

Herramientas de identificación para la configuración del Bloque H en sentido Y

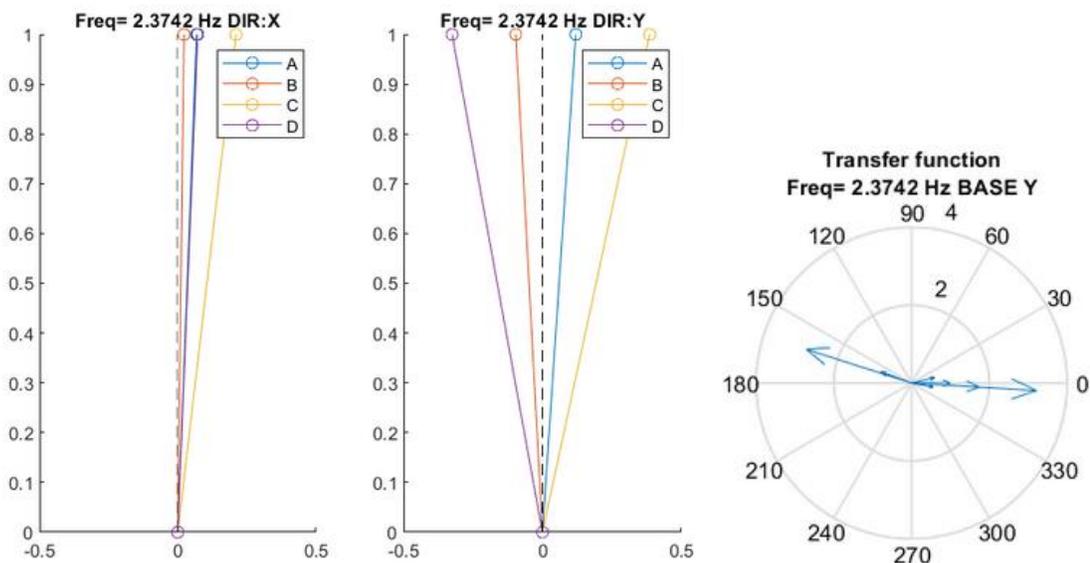


Lo que la transformada de Fourier es filtrar las señales, para tratar de que la señal con la que se trabaje sea lo más limpia posible, despejando ruidos que pueden interferir con la frecuencia de la estructura.

Una vez obtenidos las herramientas de identificación de procederá a encontrar los picos en común, los cuales serán descartados por la herramienta compass y el ploteo de ángulos de fase. La herramienta compass permitirá evaluar si los ángulos de los vectores de la función de transferencia se encuentren en fase.

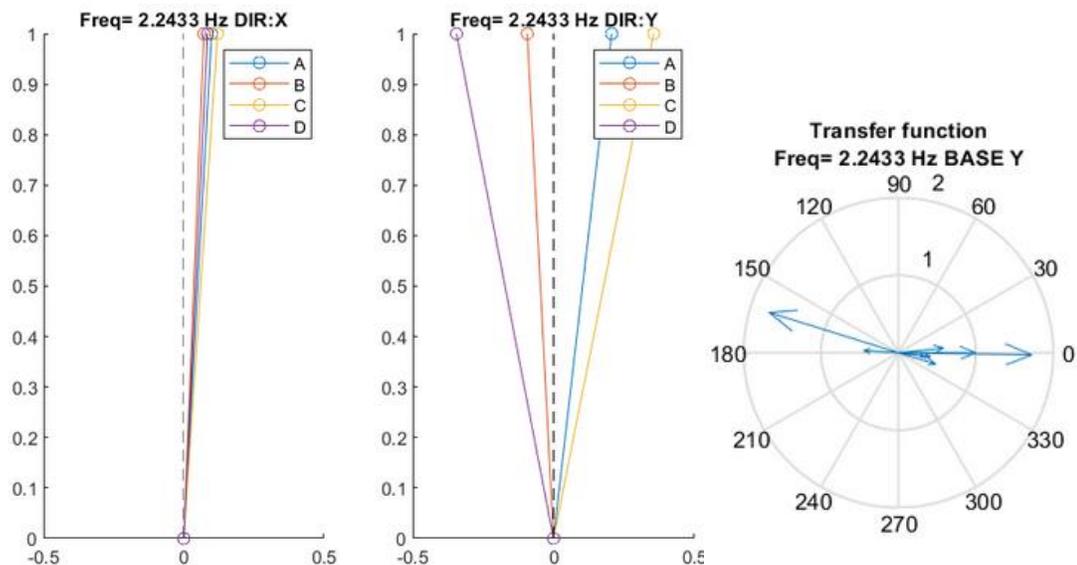
### Figura 123

*Modo de Bloque G con su respectiva Forma modal y la herramienta compass con ángulos de fase*



**Figura 124**

*Modo de Bloque H con su respectiva Forma modal y la herramienta compass con ángulos de fase*



Una vez definidos los modos de vibrar de cada edificación se podrá calcular el periodo de vibración, valores que se resumen en la Tabla 111

**Tabla 111**

*Modos de vibración expresados en frecuencia y período para cada uno de los bloques*

Bloque	Modo	
	Frecuencia [Hz]	Período [s]
G	2,3742	0,42
H	2,2433	0,45

### ***Índice de vulnerabilidad***

Después de obtener los periodos fundamentales de cada estructura se procederá a realizar un análisis a partir de la siguiente ecuación, obtenida de la metodología chilena, con la relación H/T. (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 2000)

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = \frac{\text{Altura total de la edificación}}{\text{Período de Vibración}}$$

Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad se puede caracterizar la rigidez de las edificaciones según las indicadas en la tabla 112.

**Tabla 112**

Clasificación de los valores de Rigidez

<b>Índice de Vulnerabilidad</b>	<b>Rigidez</b>
<20	Muy Flexible
20 - 40	Flexible
40 -70	Normal
70 - 150	Rígidos

*Nota:* Recuperado de (Guendelman, Guendelman, & Lindenberg, 2000)

En la tabla 113 se muestra el cálculo del índice vulnerabilidad para la edificación del Bloque G y H y según su índice su clasificación.

**Tabla 113**

Modos de vibración expresados en frecuencia y período para cada uno de los bloques

<b>Bloque</b>	<b>Índice de Vulnerabilidad</b>	<b>Clasificación</b>
G	$\frac{13,60}{0,42} = 32,38$	Flexible
H	$\frac{13,60}{0,45} = 30,22$	Flexible

**Tabla 114**

*Resumen del proceso de obtención de datos a partir de registros acelerográficos*

Descripción	Resultados Esperados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>Descargar Geopsy. Obtener un listado en formato.txt de los datos obtenidos por cada uno de los sensores seleccionados, durante los 30 min que se ejecutó el ensayo. Los datos obtenidos durante el ensayo son de los sensores ubicados cerca de la unión columna-viga en sentido "x" y "y".</p>	<p>Se obtendrá una gráfica de la señal, con los datos que se haya subido en ese momento. En nuestro caso va hacer una señal en sentido "x" o "y".</p>	<p>Se obtuvo una gráfica donde se puede apreciar la señal de los datos obtenidos del sensor durante 30 min.</p>	<p>El documento .txt que sea subido debe tener únicamente los datos de la señal que se quiere en forma de lista. De igual manera su formato debe estar con puntos ya que las comas no aceptan.</p>
<p>Una vez ingresado los datos de la señal correspondiente a uno de los sentidos de los sensores se debe filtrar la frecuencia donde se podrá identificar el rango de frecuencia que admitirá el programa para evaluar la señal.</p>	<p>Se obtendrá una mejor visión de la gráfica generada anteriormente, donde se podrá visualizar la señal con una mayor amplitud.</p>	<p>Se obtuvo una gráfica donde se pudo apreciar mejor las partes en que se distorsionaba con mayor fuerza la señal.</p>	<p>Se debe identificar el rango de la frecuencia que se quiere que sea reconocidas por el programa.</p>
<p>Se procede a identificar el espectro de repuesta de la señal, donde el programa nos permitirá evaluar las zonas de la señal que sean homogéneas y separa de las otras señales las cuales pueden representar ruido.</p>	<p>Se obtendrá la gráfica de espectro de respuesta de la señal, donde se podrá obtener el mayor pico que identificará la frecuencia a ala que vibra la edificación.</p>	<p>Se obtuvo el espectro de respuesta representado en una gráfica.</p>	<p>Se debe escoger por medio de las herramientas el tipo de ventaneo que se quiere que realice el programa y el rango de la frecuencia que se quiere que se lea en la gráfica.</p>

Descripción	Resultados Esperados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>Una vez obtenidas las frecuencias de piso de las edificaciones, se obtendrá este valor que nos ayudará como dato de partida en el procesamiento de datos en el software Matlab</p>	<p>Frecuencias de Piso de cada edificación.</p>	<p>Frecuencias de Piso de cada edificación.</p>	
<p>Descargar los programas que se utilizaran en el Software Matlab. En caso de la instrumentación de 2 pisos se usarán 4 programas los cuales son: C1_Estructura_de_datos, C2_Filtrado_de_datos_y_vector_tiempo, C3_Analisis_inicial_data y C4_Analisis_Conf.</p>	<p>Obtener los programas para procesar los datos obtenidos del ensayo.</p>	<p>Se obtuvo los programas de la carpeta compartida por el anterior Grupo que realizó el mismo ensayo.</p>	<p>Es recomendable usar un software de Matlab que sea una versión mayor a la de 2017 para que no haya error en los resultados.</p>
<p>Se debe cargar los datos obtenidos en el ensayo en formato .txt para que el software sea capaz de leer y procesar los datos en formato. mat. El programa que facilita esta operación es el programa C1.</p>	<p>Se obtendrá un listado con los registros obtenidos del ensayo en formato. mat.</p>	<p>Se obtuvo una lista con los registros en formato. mat.</p>	<p>Es necesario cambiar el formato de los registros, caso contrario el software no podrá leerlos y sería más difícil el procesamiento de datos.</p>

Descripción	Resultados Esperados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>Se debe obtener el vector tiempo con ayuda del programa C1, el cual se obtendrá subiéndolo al software tres de los registros pero que sean de manera seguida.</p>	<p>Se obtendrá el vector tiempo.</p>	<p>Se obtuvo el vector tiempo en formato. mat que nos ayudará para el procesamiento de datos.</p>	<p>Es esencial que el registro de datos que se haya colocado en la obtención del vector tiempo sea continuo. Por ejemplo: Registro_1, Registro_2 y Registro_3.</p>
<p>Una vez obtenido el vector tiempo se procede a realizar las gráficas de las señales con ayuda del programa C3 el cual nos permite graficar de forma rápida los datos adquiridos en campo y observar que tan confiables son para el análisis.</p>	<p>Se obtendrá las gráficas de todas las señales obtenidas en el ensayo.</p>	<p>Una vez obtenidas las gráficas de las señales, se podrá identificar cuáles señales representan una mejor homogeneidad en su señal.</p>	<p>La confiabilidad del análisis depende de cuán limpias son las señales, si presentan demasiado ruido, su filtrado y tratamiento puede afectar los resultados, por lo que se debe descartar su uso. Es indispensable para la obtención del vector tiempo.</p>
<p>Una vez obtenidas las gráficas se identificarán las señales más limpias con las cuales se procesarán los datos. Se volverá al programa C2 en el cual se cargarán los datos que sean de interés. Esta matriz generará 9 minutos de datos de aceleración. Una vez que sean confiables los datos seleccionados se procede a filtrar los datos en el mismo</p>	<p>Se obtendrá dos matrices de datos filtrados y no filtrados que serán usados en el programa C4.</p>	<p>Se obtienen dos matrices de datos filtrados y no filtrados con el nombre que se le quiera identificar.</p>	<p>Es mejor evitar correr el programa de filtrado de datos en caso de que no se esté seguro de la confiabilidad de las señales, ya que puede dar datos erróneos y demorar el proceso.</p>

Descripción	Resultados Esperados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>programa, el cual generaría dos matrices de datos filtrados y no filtrados.</p>			
<p>Una vez generada la matriz de procederá al programa C4, el cual analizará los datos y tiene como objetivo determinar las características de la estructura instrumentada. Este programa procesará los datos por medio de la transformada de Fourier, función de transferencia, entre otras herramientas. La transformada de Fourier y la función de transferencia nos permitirá determinar los modos de vibrar de la estructura.</p>	<p>Se obtendrá las gráficas de la transformada de Fourier, la función de transferencia en sentido X y mar usadas para determinar la frecuencia de la estructura. Como resultado se nos presentará gráficas correspondientes a su forma modal y el gráfico generado por la herramienta compass con ángulos de fase.</p>	<p>Se obtuvo las gráficas mencionadas y con esto los datos a ingresar en el software MATLAB, ya que se tiene el dato de la frecuencia a la que vibra la estructura.</p>	<p>Para el procesamiento de datos en este programa hay que especificar el canal en ambos sentidos que se utilizará como base y determinar las frecuencias donde serán evaluados los datos. Para este paso nos servirá las gráficas obtenidas por la transformada de Fourier y la función de transferencia en ambos sentidos.</p>

## Capítulo 6

### Modelos numéricos computacionales

A fin de complementar toda la información obtenida y realizar una comparación entre los distintos resultados ya sea por instrumentación o de manera visual se creó este capítulo para añadir un modelado mediante el Software ETABS en el cual se analizará las derivas de piso, modos de vibrar y se realizara un análisis no lineal con Pushover el cual nos permitirá llevar a la estructura hasta su punto de falla y analizar su comportamiento en un rango plástico.

Es importante aclarar que se empleó el software analítico ETABS 19.1.0

#### Figura 125

*Versión de ETABS 19.1.0*



*Nota:* (ETABS, 2019)

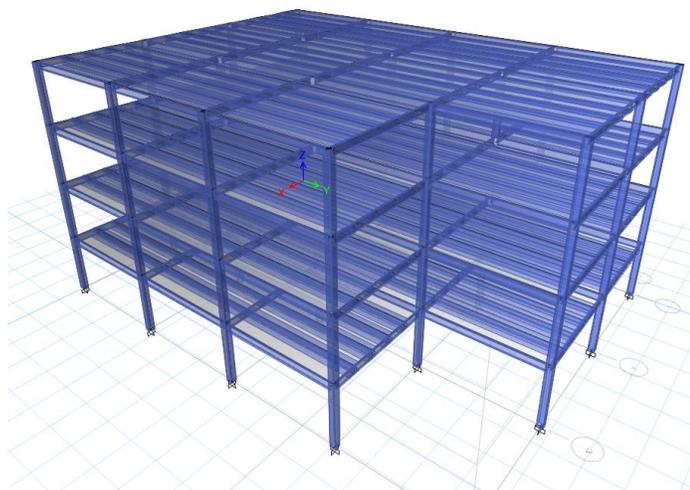
A continuación, se detallará cada una de las propiedades, dimensiones, secciones, materiales implementados en el diseño de la edificación, así como también consideraremos los casos de cargas, combinación, para que el software realice un análisis tanto lineal como un análisis no lineal de la estructura.

Debido a la simetría que se presenta en ambos bloques, tanto en los planos como en sus secciones correspondientes, materiales y de más elementos que conforman nuestra estructura, se procede a realizar un solo modelo para el presente

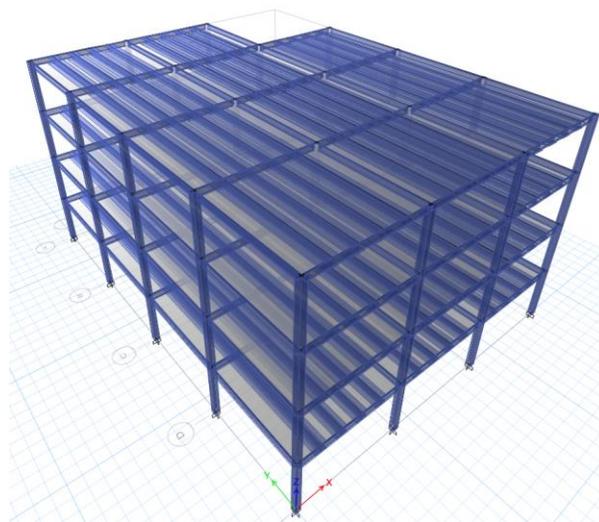
proyecto, con el cual se detallara cada uno de los resultados obtenidos, a continuación, se muestra dichos bloques para continuar con su respectivo análisis. (ver Figura 126)

**Figura 126**

*Modelamiento en ETABS de las estructuras. a)Bloque G, b)Bloque H*



(a)



(b)

## **Descripción de materiales**

Las propiedades de los materiales que constituyen cada una de las secciones que conforman las estructuras analizadas, fueron ya especificadas en el capítulo 3, pero se hace hincapié que tanto las características del hormigón empleado, así como las del acero de las varillas de refuerzo se las extrajo de la información anexa en los planos proporcionados por la unidad de desarrollo físico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **Acero**

Para la edificación del Bloque G y H se cuenta con secciones tubulares de acero tipo A36 para columnas, las cuales son de tipo mixtas, es decir tanto en su interior como exterior éstas poseen hormigón cuya resistencia a la compresión a los 28 días  $f'c$  es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, pero para efectos de la realización del modelo, pero al momento de realizar el diseño el software no permite colocar lo que son las rotulas plásticas en dicho material, por lo cual se trabajara como perfiles tubulares en su totalidad.

Por otro lado, las vigas poseen un perfil tipo I, el cual se lo dividió en tres tipos: A, B, C; toda esta información fue detallada en el capítulo 3, tanto como las celosías implementadas para el presente análisis.

## Módulo de elasticidad del hormigón

El módulo de elasticidad del hormigón se halla a partir de la fórmula especificada en secciones anteriores, en este caso se la aplica para el  $f'c$  definido para el hormigón:

$$E_c = 15100\sqrt{f'c}$$

Donde:

$E_c$  Módulo de elasticidad del hormigón ( $\text{kg/cm}^2$ )

$f'c$  Resistencia a la compresión del hormigón ( $\text{kg/cm}^2$ )

$$E_c = 15100\sqrt{210}$$

$$E_c = 218819.7889 \text{ kg/cm}^2$$

**Figura 127**

*Propiedades del hormigón*

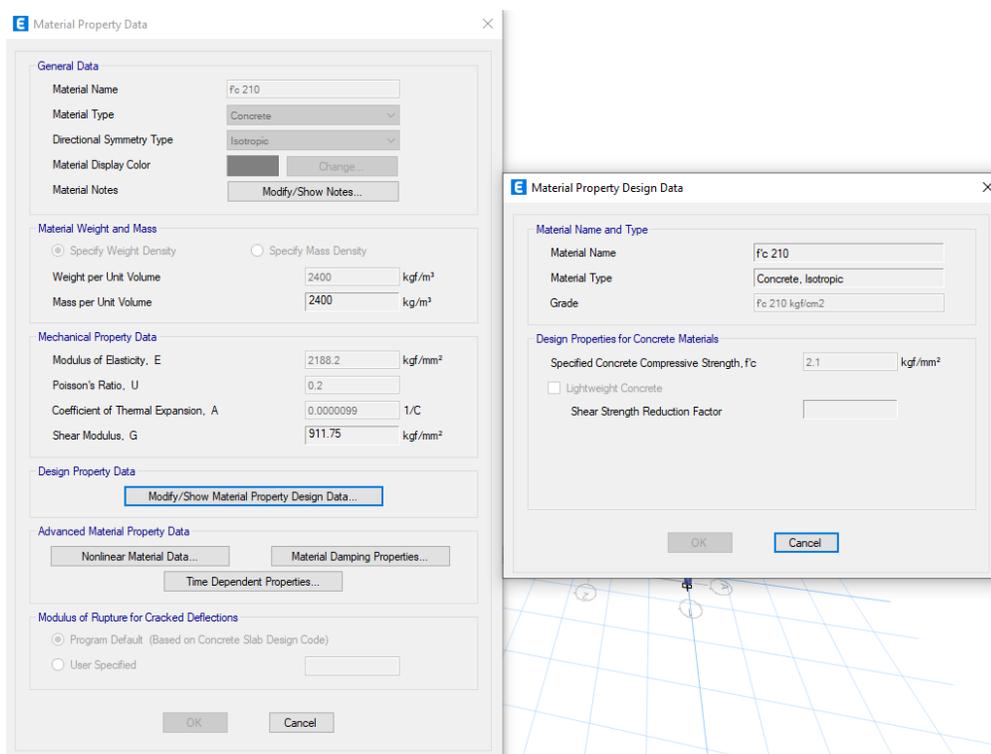


Figura 128

## Propiedades del Acero A36

The image shows two overlapping dialog boxes from a software application. The left dialog, titled 'Material Property Data', contains the following information:

- General Data:** Material Name: A36; Material Type: Steel; Directional Symmetry Type: Isotropic; Material Display Color: Yellow; Material Notes: (empty).
- Material Weight and Mass:** Specify Weight Density (selected): Weight per Unit Volume: 7849.05 kgf/m<sup>3</sup>; Mass per Unit Volume: 7849.047 kg/m<sup>3</sup>.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 20389.02 kgf/mm<sup>2</sup>; Poisson's Ratio, U: 0.3; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C; Shear Modulus, G: 7841.93 kgf/mm<sup>2</sup>.
- Design Property Data:** A button labeled 'Modify/Show Material Property Design Data...'. Below it are buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

The right dialog, titled 'Material Property Design Data', contains the following information:

- Material Name and Type:** Material Name: A36; Material Type: Steel, Isotropic; Grade: Grade 36.
- Design Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy: 25.3 kgf/mm<sup>2</sup>; Minimum Tensile Strength, Fu: 40.8 kgf/mm<sup>2</sup>; Expected Yield Stress, Fye: 38.67 kgf/mm<sup>2</sup>; Effective Tensile Strength, Fue: 50.27 kgf/mm<sup>2</sup>.
- At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Como se puede evidenciar en las figuras 127 y 128, es necesario especificar los parámetros de:

$F_y$  Límite mínimo de fluencia

$F_u$  Resistencia mínima a la tracción

$F_{y_e}$  Límite de elasticidad esperado

$F_{u_e}$  Resistencia a la tracción esperada

Estos valores fueron encontrados aplicando las ecuaciones propuestas por el código AISC.

Los factores de correlación dependen del tipo de acero y su esfuerzo de fluencia, en la siguiente tabla se resumen los valores determinados para los tipos de aceros encontrados:

**Tabla 115**

*Factores de correlación para los tipos de acero.*

<b>Esfuerzo fluencia</b>	$f_y$	$f_u$	$f_{y_e}$ <b>kgf/mm<sup>2</sup></b>	$f_{u_e}$ <b>kgf/mm<sup>2</sup></b>
$f_y = 36 \text{ KSI}$	25,3	40,8	38,67	50,27

### **Descripción de Secciones**

En el capítulo 3 ya se detalló a profundidad cada una de las secciones que conformaban el sistema estructural de la edificación, así que, solo se hará referencia a particularidades encontradas en la edificación con respecto a sus secciones.

### **Columnas**

Se evidencia dos tipos de perfiles diferentes de columnas como se muestra a continuación:

**Tabla 116**

*Secciones de columnas*

<b>Dimensiones de columnas</b>			
<b>Tipo</b>	<b>h</b>	<b>b</b>	<b>T</b>
C1-1	300	300	22
C1-2	300	300	16

Figura 129

Secciones tubulares (Columnas). a) Sección de 300x300x22 b) Sección de 300x300x16

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a steel tube section. The 'General Data' section includes: Property Name: C1-1; Material: A992Fy50; Display Color: Red; Notes: Modify/Show Notes... The 'Shape' section shows: Section Shape: Steel Tube. The 'Section Property Source' section shows: Source: User Defined. The 'Section Dimensions' section includes: Total Depth: 300 mm; Total Width: 300 mm; Flange Thickness: 22 mm; Web Thickness: 22 mm; Corner Radius: 0 mm. The 'Property Modifiers' section shows: Modify/Show Modifiers... Currently Default. The 'Show Section Properties...' button is at the bottom left. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right. A 3D view of the section is shown on the right, with axes 2 and 3.

(a)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a steel tube section. The 'General Data' section includes: Property Name: C1-2; Material: A992Fy50; Display Color: Magenta; Notes: Modify/Show Notes... The 'Shape' section shows: Section Shape: Steel Tube. The 'Section Property Source' section shows: Source: User Defined. The 'Section Dimensions' section includes: Total Depth: 300 mm; Total Width: 300 mm; Flange Thickness: 16 mm; Web Thickness: 16 mm; Corner Radius: 0 mm. The 'Property Modifiers' section shows: Modify/Show Modifiers... Currently Default. The 'Show Section Properties...' button is at the bottom left. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right. A 3D view of the section is shown on the right, with axes 2 and 3.

(b)

Es importante recalcar que el modelo utilizado en el Software ETABS carece de columnas mixtas debido a que uno de los pasos para realizar nuestro análisis no lineal

es la colocación de rotulas en distintos elementos estructurales y al contener dichas columnas mixtas el software no permite la colocación de rotulas en dichos elementos.

## Vigas

Para el caso de las vigas, se utilizará un perfil tipo I tal y como se detalla en los planos, dividiéndolo en 3 tipos.

**Tabla 117**

*Vigas Bloque G y H*

Dimensiones de vigas					
Tipo	h	tw	b	tf	hf
A	300	8	100	15	330
C	350	8	100	15	380
D	350	8	122	15	380

**Figura 130**

*Viga perfil tipo I (VA)*

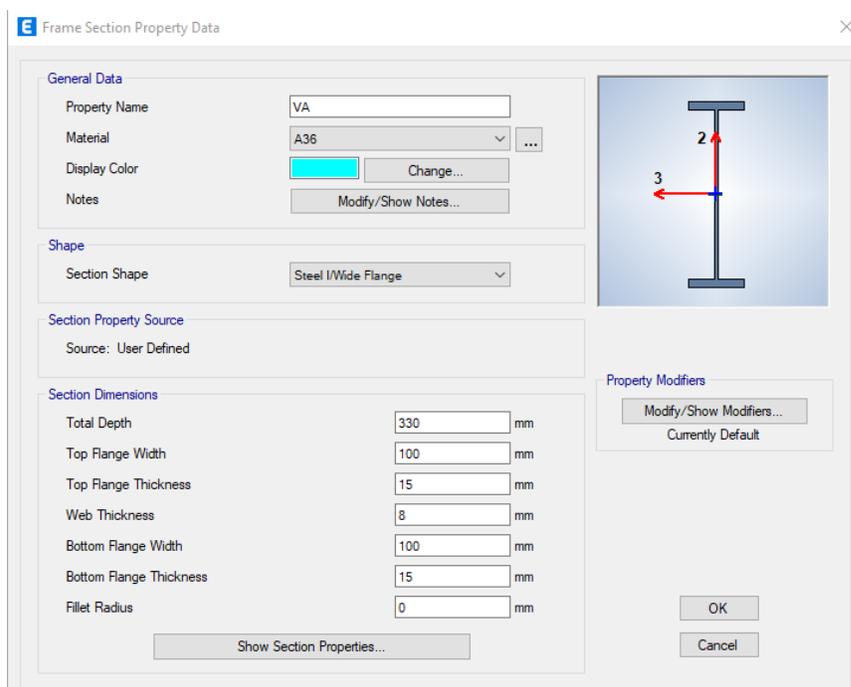


Figura 131

Viga perfil tipo I (VC)

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: VC

Material: A36

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Steel I/Wide Flange

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Total Depth	380	mm
Top Flange Width	100	mm
Top Flange Thickness	15	mm
Web Thickness	8	mm
Bottom Flange Width	100	mm
Bottom Flange Thickness	15	mm
Fillet Radius	0	mm

Show Section Properties...

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

OK  
Cancel

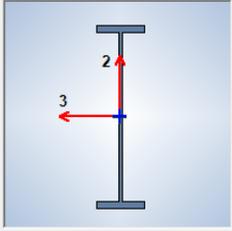


Figura 132

Viga perfil tipo I (VD)

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: VD

Material: A36

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Steel I/Wide Flange

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

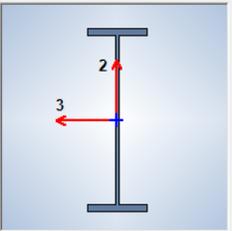
Total Depth	380	mm
Top Flange Width	122	mm
Top Flange Thickness	15	mm
Web Thickness	8	mm
Bottom Flange Width	122	mm
Bottom Flange Thickness	15	mm
Fillet Radius	0	mm

Show Section Properties...

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

OK  
Cancel



## Losa

La edificación cuenta con una losa deck, con un espesor de 10 cm, la cual estará ubicada sobre las viguetas de tipo celosía, esta losa constara de nervios con dimensión de 199mm, y la separación entre nervios será de 132mm, constara con conectores de cortante de 80mm de altura (ver Figura 33, Cap. 3).

En el software se ha ingresado la siguiente configuración:

### Figura 133

#### *Losa Desck de las estructuras*

General Data	
Property Name	Losa Deck
Type	Filled
Slab Material	fc 210
Deck Material	A36
Modeling Type	Membrane
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

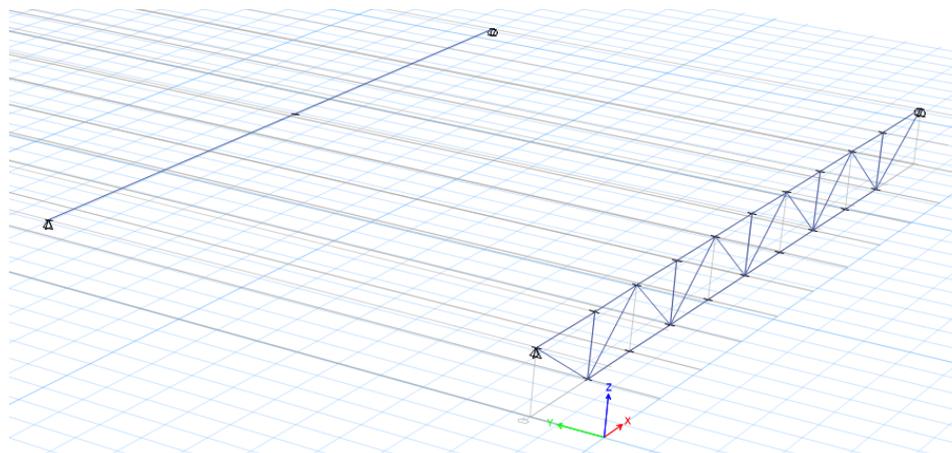
Property Data	
Slab Depth, tc	49 mm
Rib Depth, hr	51 mm
Rib Width Top, wtr	182 mm
Rib Width Bottom, wrb	132 mm
Rib Spacing, sr	331 mm
Deck Shear Thickness	1 mm
Deck Unit Weight	11.23 kgf/m <sup>2</sup>
Shear Stud Diameter	22 mm
Shear Stud Height, hs	80 mm
Shear Stud Tensile Strength, Fu	40.79 kgf/mm <sup>2</sup>

## Viga equivalente

Al presentarse viguetas de tipo celosía, se procede a encontrar una nueva vigueta para utilizarla de remplazo, esto debido a los problemas que presenta el programa al momento de ejecutarlo, se procede a encontrar la deflexión producida en el punto central de dicha celosía e igualarla con otra vigueta de tipo I, para poder realizar esta operación es importante recalcar que necesitaremos también la misma masa para ambas estructuras como se observa en las Figuras 134 y 135:

**Figura 134**

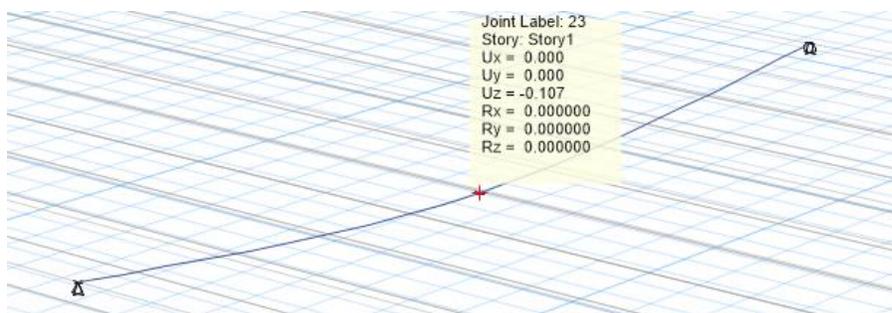
*Viga equivalente a la vigueta tipo celosia*



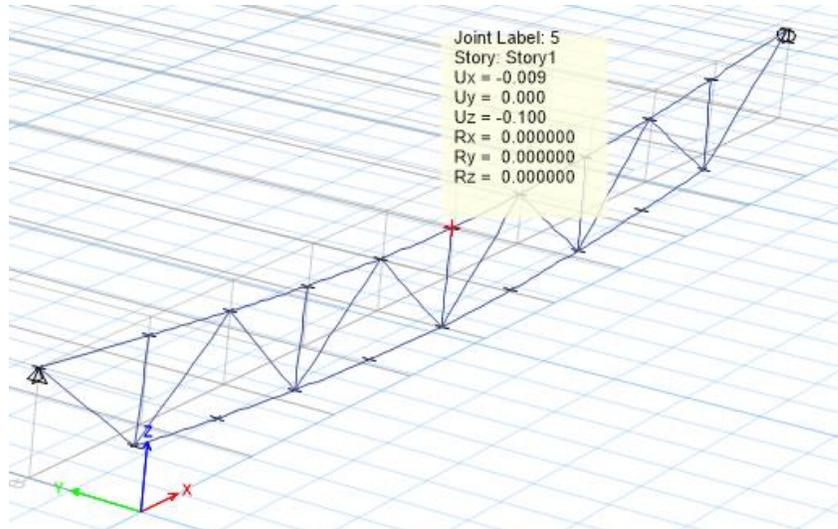
Una vez ejecutado el programa se obtiene la siguiente deflexión:

**Figura 135**

*Viga equivalente a la vigueta tipo celosia con sus respectivas deflexiones. a) viga equivalente, b) vigueta tipo celosia*



(a)

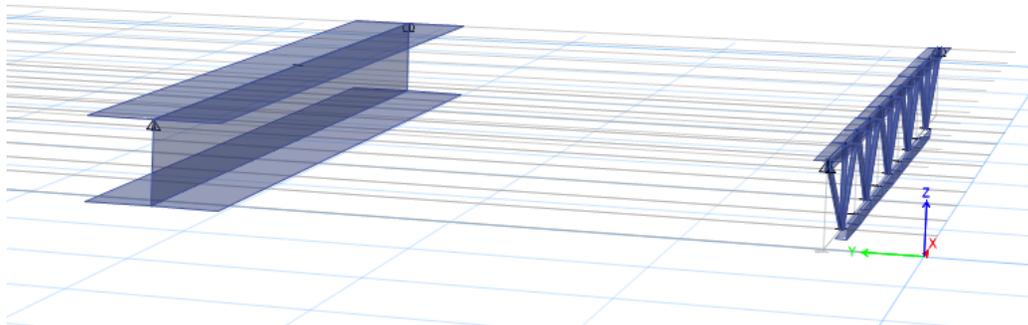


(b)

A continuación, se muestra la siguiente sección equivalente de la celosía comparada con el perfil I: 430x650

### Figura 136

*Sección de viguetas equivalentes para las estructuras*

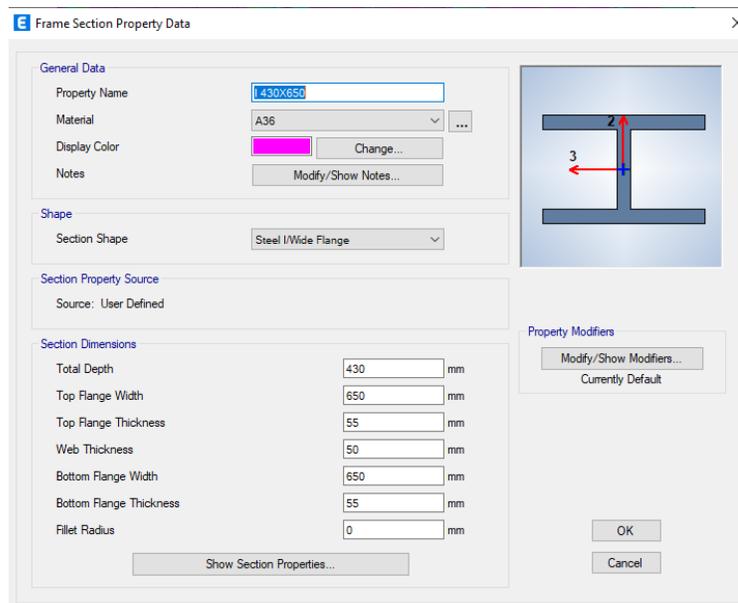


Cabe la pena destacar que el perfil utilizado para la viga equivalente no es un perfil comercial, dicha sección se utilizara solo para el análisis en el software ETABS, ya que este perfil es el que más se asemeja tanto en los valores de la deflexión, y de igual manera igualando las masas de ambas viguetas.

Se define la sección como se muestra en la figura 137:

Figura 137

*Sección de la viga equivalente perfil tipo I*

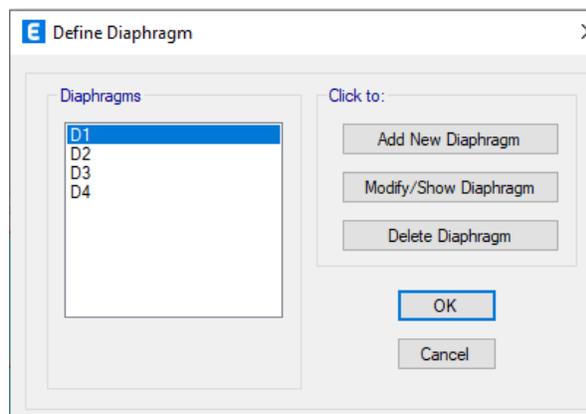


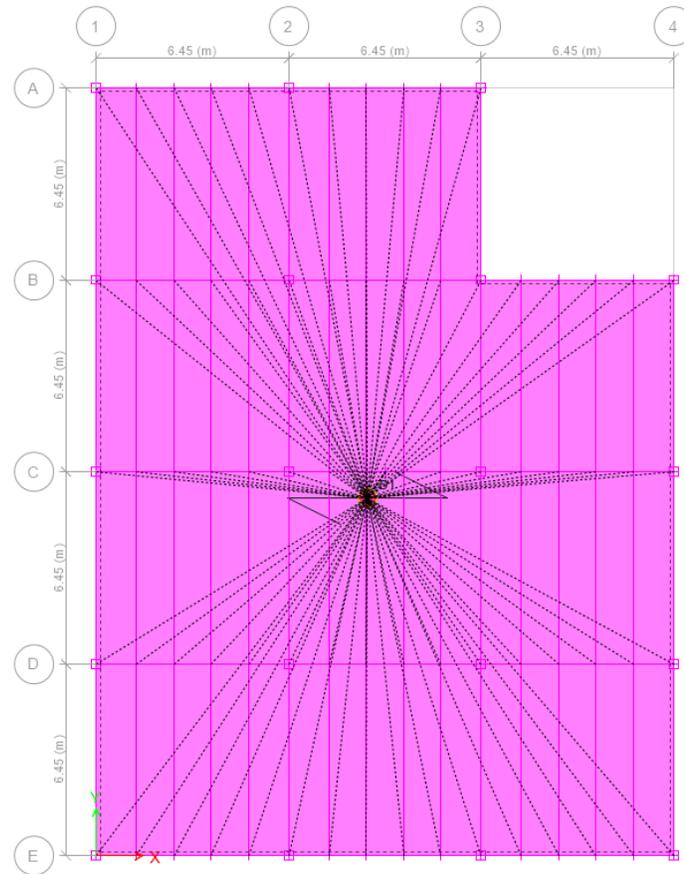
## ***Diafragmas***

Para conseguir el mismo grado de libertad por piso tanto en rotaciones y translaciones, se genera el diafragma rígido que será aplicado a cada piso en su centro de masas para de esta forma reducir el tiempo de procesamiento en el software.

Figura 138

*Diafragma para cada piso*

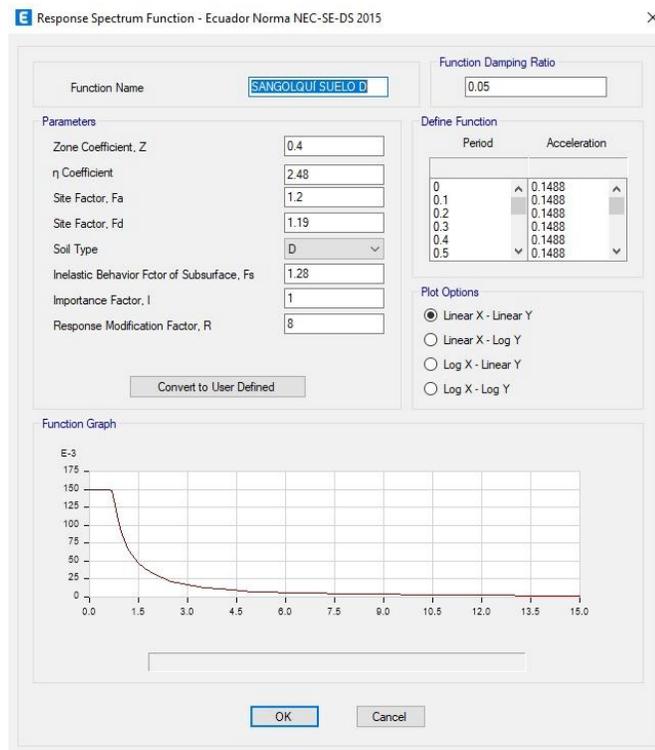


**Figura 139***Diafragma Piso 1***Definición del espectro de diseño de aceleraciones**

Para el ingreso de datos en el software, se ha detallado las siguientes características:

Figura 140

*Espectro de respuesta NEC 2015 para suelo tipo D*



### Cargas consideradas

Se presentan las cargas utilizadas en el modelo:

#### **Carga muerta**

Para el presente detallamiento de carga muerta se tomará en consideración de dos componentes:

#### **Carga permanente**

Es la carga aplicada por defecto que el software calcula en base al peso por unidad de volumen especificado en la sección "define materials" empleado en cada elemento.

## Sobrecarga

Es la sumatoria de los pesos de acabados más las mamposterías en el caso de entresijos o de acabados más antepechos en el caso de cubierta, los cuales se evidencian en los libros de obra, estos valores ya fueron obtenidos en capítulos anteriores, para la definición de patrones de carga tendrá una configuración de “super dead”.

## Carga viva

Para el modelo en análisis se tiene cargas vivas por cubierta y carga de viento.

## Carga viva de cubierta

Es una carga reducida, esta especificación se detallará en la definición de patrones de carga.

## Carga de viento

La carga de viento fue detallada en base a la normativa (ASCE, American Society of Civil Engineers, 2007):

## Figura 141

*Detalle de carga de viento ASCE 7-10*

Wind Load Pattern - ASCE 7-10

**Exposure and Pressure Coefficients**

- Exposure from Extents of Diaphragms
- Exposure from Frame and Shell Objects
  - Include Shell Objects
  - Include Frame Objects (Open Structure)

**Wind Pressure Coefficients**

- User Specified  Program Determined
- Windward Coefficient, Cpw: 0.8
- Leeward Coefficient, Cpl: 0.5

**Wind Exposure Parameters**

- Wind Direction and Exposure Width: Modify/Show...
- Case (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8): Create All Sets
- e1 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8): 0.15
- e2 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8): 0.15

**Wind Coefficients**

- Wind Speed (mph): 18.18
- Exposure Type: B
- Topographical Factor, Kzt: 1
- Gust Factor: 0.85
- Directionality Factor, Kd: 0.85
- Solid / Gross Area Ratio:

**Exposure Height**

- Top Story: Story4
- Bottom Story: Base
- Include Parapet
- Parapet Height: 1.2 m

OK Cancel

### **Carga de granizo**

La NEC especifica colocar una carga de:

$$S = 0.1 \frac{tonf}{m^2}$$

### **Carga sísmica estática en x**

Esta carga se la incluye en los patrones de carga donde tiene los siguientes valores mostrados en la Figura 142:

**Figura 142**

*Sismo estático en X*

### **Carga sísmica estática en y**

Esta carga se la incluye en los patrones de carga donde tiene los siguientes valores mostrados en la Figura 143:

Figura 143

*Sismo estático en Y*

**Seismic Load Pattern - User Defined**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir

X Dir + Eccentricity       Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity       Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)      0.05

Overwrite Eccentricities      Overwrite...

**Factors**

Base Shear Coefficient, C      0.215

Building Height Exp., K      1

**Story Range**

Top Story      Story4

Bottom Story      Base

OK      Cancel

### Definición de patrones de carga

Una vez asignadas todas las cargas que actúan sobre la estructura en nuestro modelo de la edificación de tal manera como se muestra en la Figura 144:

Figura 144

*Patrones de carga*

**Define Load Patterns**

**Loads**

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
VIENTO	Wind	0	ASCE 7-10
PERMANENTE	Dead	1	
TEMPORAL	Reducible Live	0	
CM ADICIONAL	Super Dead	0	
SX ESTÁTICO	Seismic	0	
SY ESTÁTICO	Seismic	0	
TEMPORAL CUBIERTA	Roof Live	0	
GRANIZO	Snow	0	
VIENTO	Wind	0	ASCE 7-10
VIRTUAL X	Other	1	

**Click To:**

Add New Load

Modify Load

Modify Lateral Load...

Delete Load

OK      Cancel

### Definición de la masa

Se presenta las cargas que actúan en “Mass Source Data”, las cuales son carga permanente y carga muerta adicional como se muestra en la Figura 145:

Figura 145

Definición de masa

Mass Source Data

Mass Source Name: MASA 01

Mass Source

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns
- Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
  - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
  - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
PERMANENTE	1
PERMANENTE	1
CM ADICIONAL	1

Mass Options

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

OK Cancel

## Definición de casos de carga

Para los “load cases data” se ingresan los sismos dinámicos en X y Y tal como se indica en la figura 146 y 147.

Figura 146

Caso de carga: Sismo dinámico en X

Load Case Data

General

Load Case Name: SX DINAMICO

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MASA 01)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SANGOLQUI SUEL...	9.8067

Other Parameters

Modal Load Case: Modal espectral

Modal Combination Method: SRSS

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

OK Cancel

Figura 147

Caso de carga: Sismo dinámico en Y

**General**

Load Case Name: SY DINAMICO

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MASA 01)

Analysis Model: Default

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	SANGOLQUI SUEL...	9.8067

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal espectral

Modal Combination Method: SRSS

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Una vez ingresados dichos sismos dinámicos, se ingresan los casos no lineales los cuales intervienen para el posterior análisis del pushover, mismos que se detallarán posteriormente.

### Combinaciones de carga

Para la determinación de las combinaciones de carga, se recurrió a la norma NEC 2015, en donde se ha obtenido 19 combinaciones, las mismas que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 118***Combinaciones de cargas adoptadas*

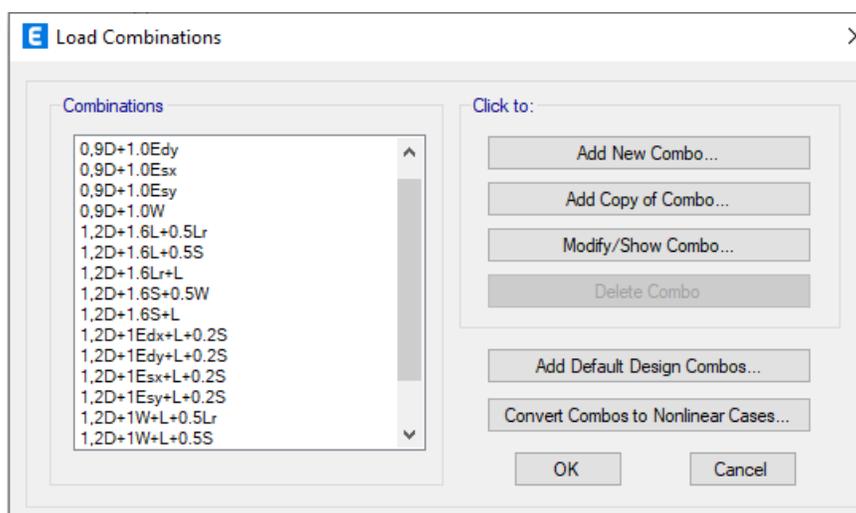
<b>Combinación</b>	<b>Ecuación</b>
<i>Combinación 1</i>	D=sobrecarga+dead
<i>Combinación 2</i>	1,4D
<i>Combinación 3</i>	1,2D+1,6Lr+0,5W
<i>Combinación 4</i>	1,2D+1W+L+0,5S
<i>Combinación 5</i>	1,2D+1W+L+0,5Lr
<i>Combinación 6</i>	1,2D+1E <sub>sy</sub> +L+0,2S
<i>Combinación 7</i>	1,2D+1E <sub>sx</sub> +L+0,2S
<i>Combinación 8</i>	1,2D+1E <sub>dy</sub> +L+0,2S
<i>Combinación 9</i>	1,2D+1E <sub>dx</sub> +L+0,2S
<i>Combinación 10</i>	1,2D+1,6S+L
<i>Combinación 11</i>	1,2D+1,6S+0,5W
<i>Combinación 12</i>	1,2D+1,6Lr+L
<i>Combinación 13</i>	1,2D+1,6L+0,5S
<i>Combinación 14</i>	1,2D+1,6L+0,5Lr
<i>Combinación 15</i>	0,9D+1,0W
<i>Combinación 16</i>	0,9D+1,0E <sub>sy</sub>
<i>Combinación 17</i>	0,9D+1,0E <sub>sx</sub>
<i>Combinación 18</i>	0,9D+1,0E <sub>dy</sub>
<i>Combinación 19</i>	0,9D+1,0E <sub>dx</sub>

Donde

D Carga muerta

L Carga viva

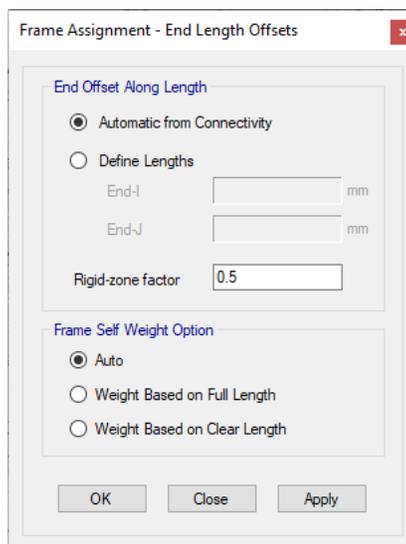
Lr	Carga de cubierta
W	Carga de viento
S	Carga de granizo
E	Carga sísmica (estática o dinámica en X o Y)

**Figura 148***Combinaciones de carga***Rigidización de nudos**

A fin de cumplir con la teoría de nudo rígido por la confluencia de elementos, se seleccionan todos los nudos y se les asigna un factor de rigidización recomendado de 0,5 el mismo que representa el porcentaje de la longitud del elemento en donde se solicita rigidez infinita dentro del nudo. Tal como lo indica la figura 149, se muestra la configuración de rigidez de los nudos:

**Figura 149**

*Factor de rigidización por zona de valor 0,5*

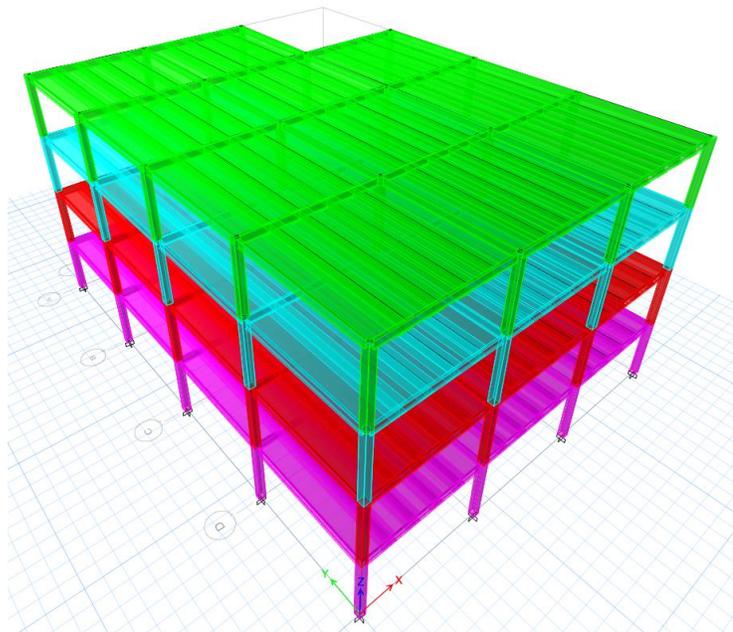
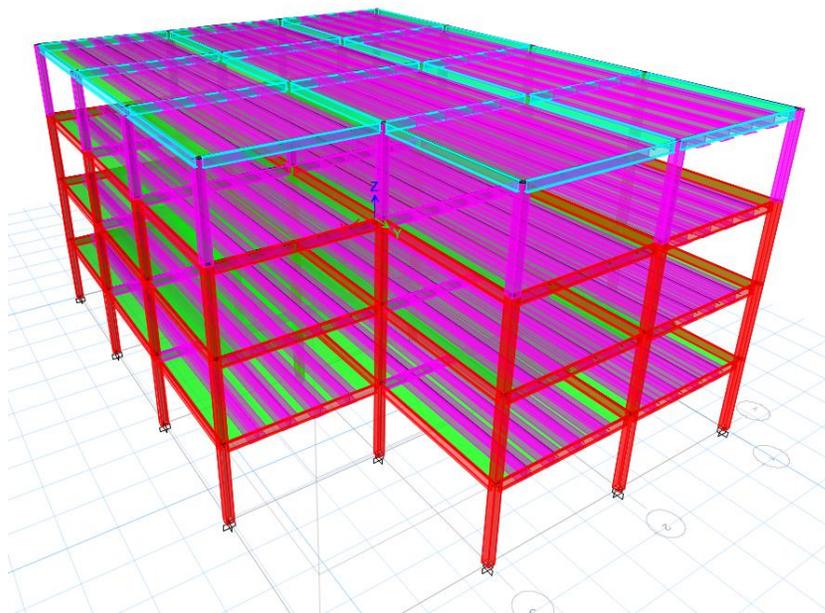


### **Edificaciones modeladas**

Ingresados los valores y definidos los materiales utilizados, las secciones correspondientes a vigas, columnas, viguetas, casos de carga, combinaciones de carga y cada uno de los parámetros correspondientes al modelo de la edificación, se obtiene el modelo listo realizado para ser ejecutado y como se indican en la Figura 150, dichos modelos variarán según el tipo de análisis, ya se lineal o no lineal:

**Figura 150**

*Estructuras analizadas, bloque G y H*



## Análisis estático elástico

De acuerdo con (García Núñez, 2018) manifiesta que:

El análisis elástico presenta dos características principales en el momento en que la estructura es afectada por un sismo. Una de ellas es que la resistencia y rigidez de la estructura se mantienen iguales sin presentar ninguna reducción de estas características. Por otra parte, la fuerza y el desplazamiento son directamente proporcional. Dentro del análisis elástico existe el análisis estático elástico que no es más que un análisis de fuerza lateral equivalente y el análisis dinámico elástico que es un análisis modal proveniente de un espectro de respuesta o un análisis tiempo historia (Mejía, 2017) (p.28).

Para realizar el análisis estático elástico es primordial idealizarlo como un sistema con 1 grado de libertad, se coloca rotulas plásticas en todas las viguetas equivalentes como se observa en la Figura 151

**Figura 151**

*Asignación de rótulas*

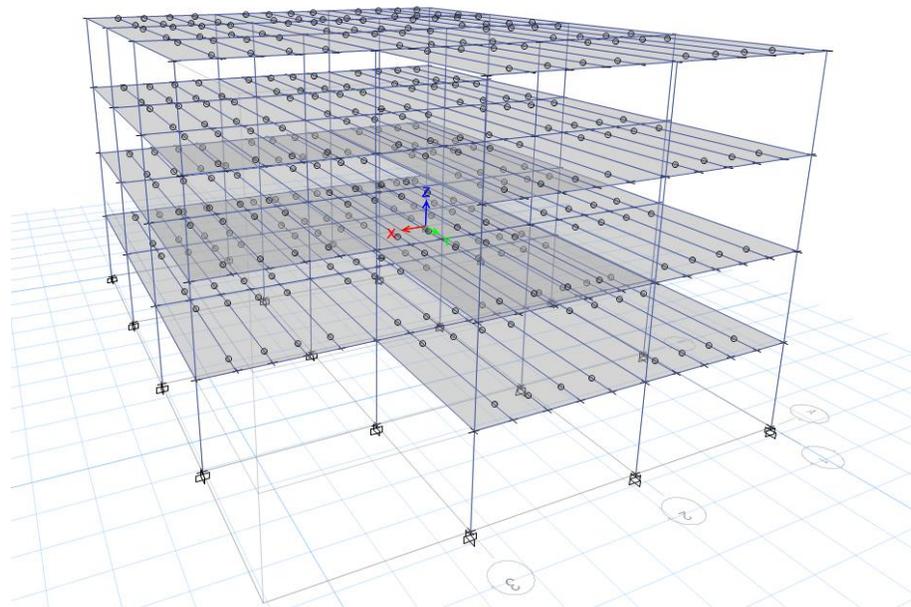
Frame Assignment - Releases/Partial Fixity

Frame Releases	Release		Frame Partial Fixity Springs		
	Start	End	Start	End	
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			tonf/mm
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			tonf/mm
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			tonf/mm
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			tonf-mm/rad
Moment 22 (Minor)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0		tonf-mm/rad
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	tonf-mm/rad
<input type="checkbox"/> No Releases					

OK Close Apply

Figura 152

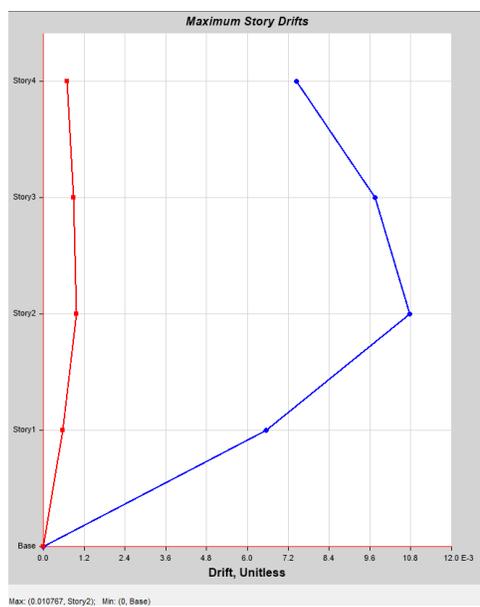
Rótulas asignadas en viguetas



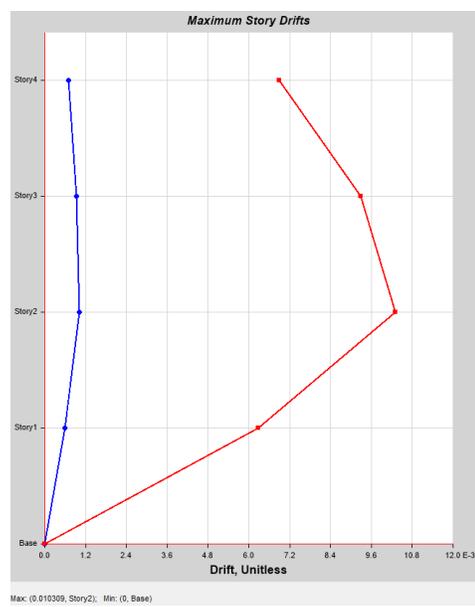
## Derivas de Piso

Figura 153

Derivas de piso. a) Sentido "x", b) Sentido "y"



(a)



(b)

## Períodos de vibración

Se analiza la importancia del periodo fundamental de vibrar en los bloques correspondientes de las edificación tanto por la instrumentación conocida como el ensayo de vibración ambiental y de igual manera se realiza una comparación con el modelo obtenido al simular nuestra estructura por el software ETABS, estos periodos son un parámetro indispensable el cual se aplica en el diseño sísmico de edificaciones o estructuras, al plantear el caso de estructuras existentes estos valores generados tanto por el software como en campo nos permiten determinar las condiciones en las que se encuentran nuestras estructuras, adicional de estos métodos existen otros proporcionados por códigos de construcción en base a formulas empíricas, pero para las edificaciones tanto del bloque G como del bloque H se realiza un cuadro comparativo en el cual constara la información sobre periodos y frecuencias arrojadas mediante el software y los datos entregados por el ensayo de vibración ambiental, se genera de igual manera un factor de corrección de frecuencias, el cual es el promedio de los resultados obtenidos por cada modo de vibrar; al presentarse una edificación de 4 pisos se entrega la información correspondiente a 12 modos de vibrar, cabe recalcar que 3 de estos corresponden a cada piso, se tomara en cuenta los 3 primeros, en sentido X, sentido Y, y por torsión.

Un dato importante a tener en consideración es la diferencia que se presentara entre nuestros resultados entregados por el Software ETABS y por instrumentación, debido a la información entregada tanto por los libros de obra y planillas de la construcción de estos bloques, se sabe que se rigidizó la estructura para reducir nuestras derivas de piso por lo que se optó por la colocación de elementos estructurales como antepechos y de elementos no estructurales como es la presencia de la mampostería por lo cual, se ve la necesidad de calcular nuestro factor de corrección de frecuencias.

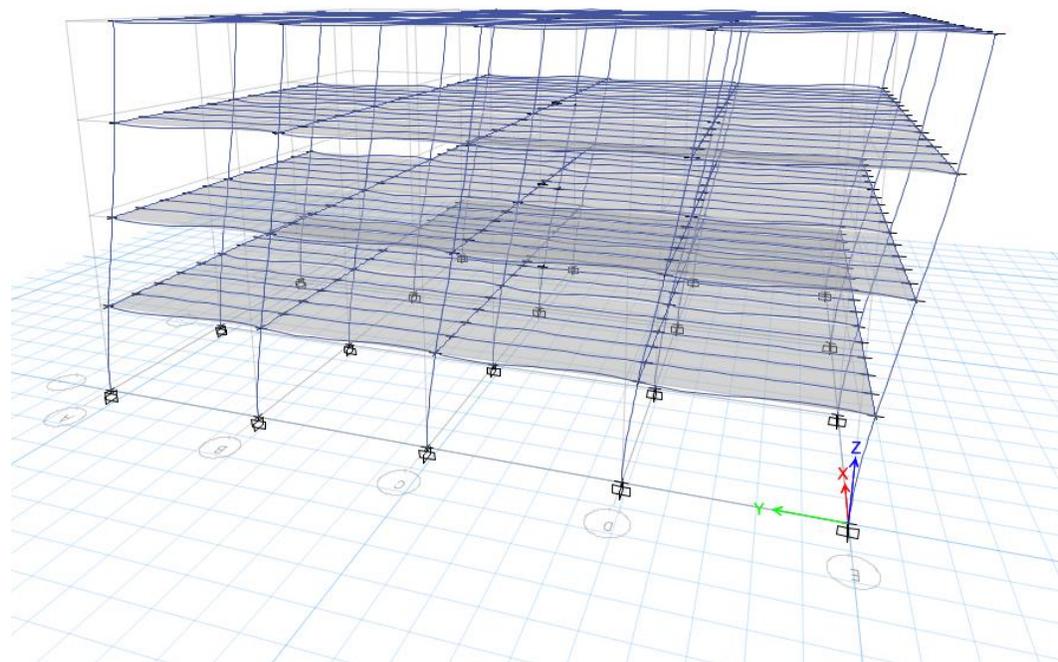
**Tabla 119***Períodos y frecuencias entregadas por el Software ETABS*

<b>Caso</b>	<b>Modo de vibrar</b>	<b>Periodo (segundos)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Participación Modal en X</b>	<b>Participación Modal en Y</b>	<b>Participación modal en Z</b>
Modal espectral	1	1,104	0,906	0,003	0,997	0,000
Modal espectral	2	1,101	0,908	0,997	0,003	0,000
Modal espectral	3	0,921	1,086	0,000	0,000	1,000
Modal espectral	4	0,334	2,994	1,000	0,000	0,000
Modal espectral	5	0,331	3,021	0,000	1,000	0,000
Modal espectral	6	0,277	3,610	0,000	0,000	1,000
Modal espectral	7	0,165	6,061	0,999	0,000	0,001
Modal espectral	8	0,164	6,098	0,000	1,000	0,000
Modal espectral	9	0,125	8,000	0,001	0,000	0,998
Modal espectral	10	0,102	9,804	0,961	0,038	0,001
Modal espectral	11	0,102	9,804	0,038	0,962	0,000

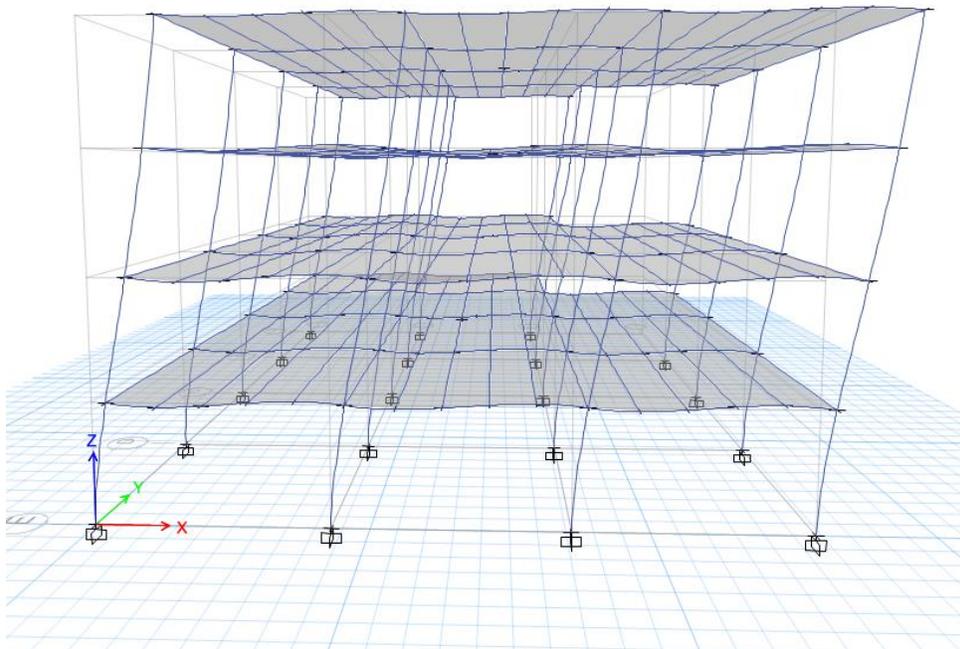
Caso	Modo de vibrar	Periodo (segundos)	Frecuencia	Participación Modal en X	Participación Modal en Y	Participación modal en Z
Modal espectral	12	0,031	32,258	0,000	0,000	1,000

**Figura 154**

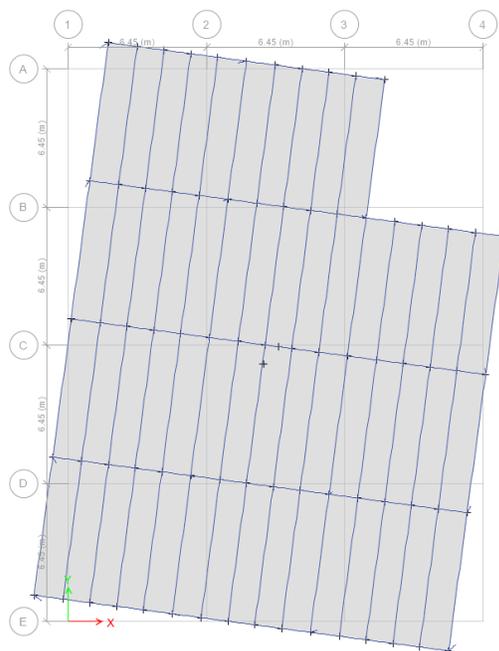
*Modos de vibrar. a) Sentido "y", b) Sentido "x", c) Sentido "z" o torsión*



(a)



(b)



(c)

**Tabla 120***Períodos y frecuencias comparativas del Bloque G*

	<b>Modo 1</b>		<b>Modo 2</b>		<b>Modo 3</b>	
	Periodo	Frecuencia	Periodo	Frecuencia	Periodo	Frecuencia
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
Instrumentación						
Bloque G	0,421	2,3742	0,392	2,5500	0,341	2,9317
Software	1,104	0,906	1,101	0,908	0,921	1,086
Factor de						
corrección de		1,566		1,732		1,735
frecuencia						
Promedio				1,678		

**Tabla 121***Períodos y frecuencias comparativas del Bloque H*

	<b>Modo 1</b>		<b>Modo 2</b>		<b>Modo 3</b>	
	Periodo	Frecuencia	Periodo	Frecuencia	Periodo	Frecuencia
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
Instrumentación						
Bloque H	0,446	2,2433	0,429	2,3333	0,377	2,6510
Software	1,104	0,906	1,101	0,908	0,921	1,086
Factor de						
corrección de		1,581		1,767		1,795
frecuencia (Hz)						
Promedio (Hz)				1,714		

Los factores de corrección de las frecuencias para el bloque G dio un valor de 1,678 Hz, mientras que para el bloque H se obtuvo un promedio de 1,714 (Hz).

### **Análisis estático no lineal (Pushover)**

El Pushover nace como una alternativa para evaluar los daños que se presentan en una estructura, se deduce del cálculo dinámico de cargas equivalentes las cuales se verán incrementadas de manera continua, forzando a la estructura a entrar en un punto en el cual está alcance su fallo, para representar dicho comportamiento se utiliza rotulas plásticas, éstas nos mostraran los puntos en los cuales nuestra estructura fallara, una vez entendido el concepto principal del Pushover se procede a encontrar dichas rotulas con la ayuda del software ETABS. A continuación, se describe de manera general procedimiento utilizado para la creación de dichas rotulas correspondientes al modelo utilizado.

Se ha generado un caso de carga no lineal denominado "Permanente no lineal" el cual se encargará de aplicar una fuerza de empuje al modelo estudiado, este constará con las cargas denominadas: "permanente" y "CM adicional" como lo muestra la Figura 155.

**Figura 155***Caso de carga permanente no lineal*
**Configuración A**

Para las configuraciones de nuestros casos de carga en sentido X y Y, se considera los modificadores de inercias en los elementos estructurales, como se muestra en la Tabla 122.

**Tabla 122***Modificadores de inercias para la configuración A*

<b>Modificador de inercia</b>	<b>Valor</b>
Columnas	0,80
Vigas	0,30

Para la configuración A se crea un caso de carga PUSHOVER X y PUSHOVER Y, se muestra los parámetros utilizados, los cuales reflejan el sentido de análisis para el cual se aplica la aceleración, de igual manera un límite en el desplazamiento, como se muestra en la Figura 156.

Figura 156

Caso de carga *PUSHOVER* para la configuración A. a) sentido X y b) sentido Y

The figure shows two side-by-side screenshots of the 'Load Case Data' dialog box. Both screenshots have the same layout and options, but differ in the load case name and the load name in the 'Loads Applied' table.

**Screenshot (a):** The 'Load Case Name' is 'PUSHOVER X'. The 'Load Case Type' is 'Nonlinear Static'. The 'Mass Source' is 'MASA 01'. The 'Analysis Model' is 'Default'. Under 'Initial Conditions', 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)' is selected, and the 'Nonlinear Case' is 'PERMANENTE NO LINEAL'. The 'Loads Applied' table has one row: 'Acceleration' with 'UX' as the 'Load Name' and '-1E-03' as the 'Scale Factor'. Under 'Other Parameters', 'Modal Load Case' is 'Modal espectral', 'Geometric Nonlinearity Option' is 'P-Delta', 'Load Application' is 'Displacement Control', 'Results Saved' is 'Multiple States', 'Floor Cracking Analysis' is 'No Cracked Analysis', and 'Nonlinear Parameters' is 'Default - Iterative Event-to-Event'.

**Screenshot (b):** The 'Load Case Name' is 'PUSHOVER Y'. The 'Load Case Type' is 'Nonlinear Static'. The 'Mass Source' is 'MASA 01'. The 'Analysis Model' is 'Default'. Under 'Initial Conditions', 'Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)' is selected, and the 'Nonlinear Case' is 'PERMANENTE NO LINEAL'. The 'Loads Applied' table has one row: 'Acceleration' with 'UY' as the 'Load Name' and '-1E-03' as the 'Scale Factor'. Under 'Other Parameters', 'Modal Load Case' is 'Modal espectral', 'Geometric Nonlinearity Option' is 'P-Delta', 'Load Application' is 'Displacement Control', 'Results Saved' is 'Multiple States', 'Floor Cracking Analysis' is 'No Cracked Analysis', and 'Nonlinear Parameters' is 'Default - Iterative Event-to-Event'.

a)

b)

Se presenta la configuración para asignar rótulas plásticas a todas las vigas y todas las columnas de la estructura en el sentido de análisis. (ver Figura 157 y 158).

Figura 157

Asignación de rótulas plásticas en vigas

The figure shows a screenshot of the 'Auto Hinge Assignment Data' dialog box. The 'Auto Hinge Type' is set to 'From Tables In ASCE 41-17'. The 'Select a Hinge Table' is set to 'Table 9-7.1 (Steel Beams - Flexure)'. Under 'Degree of Freedom', 'M3' is selected. Under 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity', 'Drops Load After Point E' is selected. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

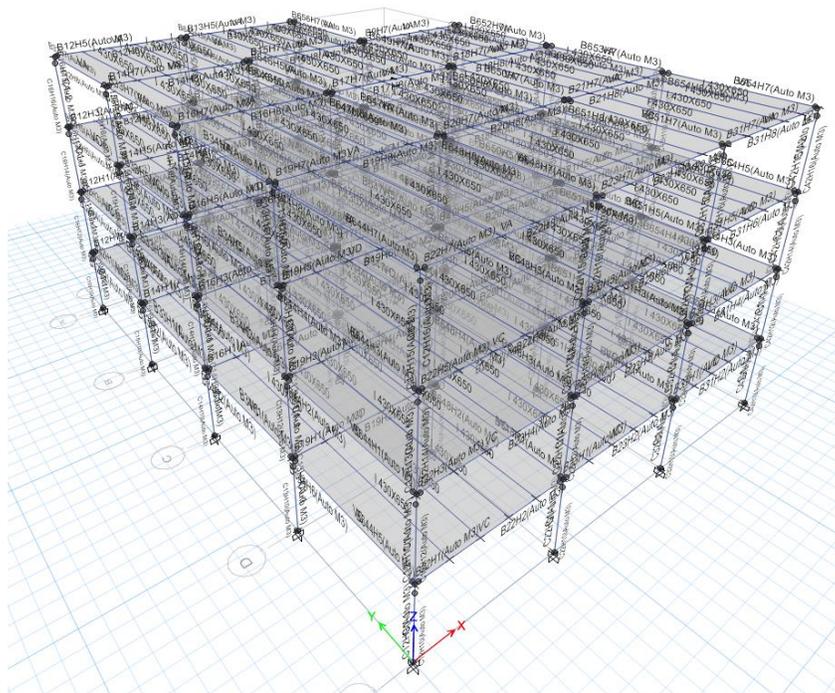
Figura 158

Asignación de rótulas plásticas en columnas

Una vez colocadas las rótulas en cada elemento obtenemos el siguiente modelo, el cual se lo analizara en la sección de resultados.

Figura 159

Modelo con rótulas plásticas en columnas y vigas



## Configuración B

Para la configuración B de nuestros casos de carga en sentido X y Y, se considera los modificadores de inercias en los elementos estructurales, como se muestra en la Tabla 123.

**Tabla 123**

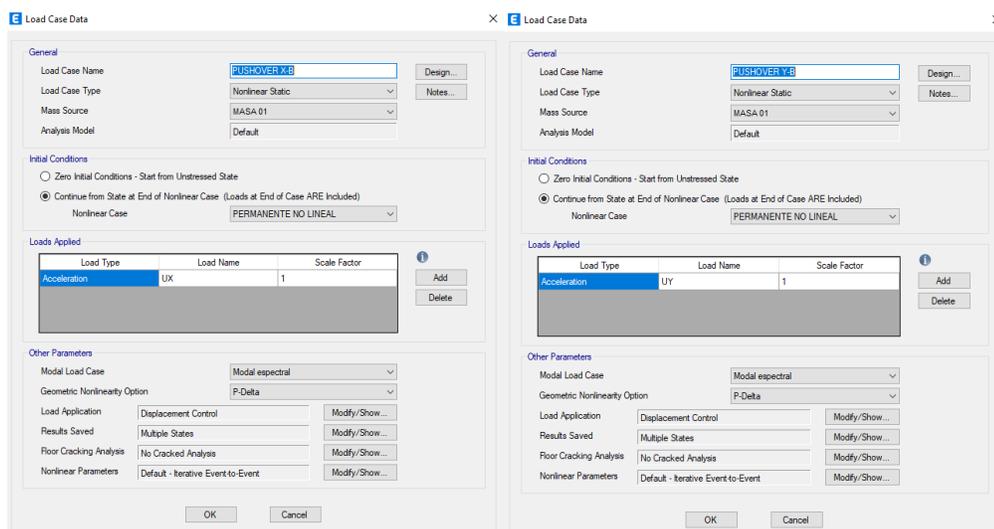
*Modificadores de inercias para la configuración B*

Modificador de inercia	Valor
Columnas	1,00
Vigas	1,00

La configuración B se crea un caso de carga PUSHOVER X y PUSHOVER Y, donde se aplicará una carga lateral en el sentido de análisis en cada uno de los pisos, así como también un límite en el desplazamiento, como se muestra en la Figura 160.

**Figura 160**

*Caso de carga PUSHOVER para la configuración B. a) PUSHOVER X y b) PUSHOVER Y*



(a)

(b)

La configuración utilizada para asignar rótulas plásticas es idéntica a la explicada en las Figura 157 y 158), a diferencia de la configuración A, en esta se asignan a las vigas del primer piso, en el pie de las columnas del primer piso y en las columnas del segundo piso tanto en pie y cabeza.

### **Resultados**

Previo a la interpretación de resultados es importante conocer la categoría por la cual clasifica el programa ETABS, los estados de daño de una estructura; se divide en 5 categorías las cuales se clasifican según su estado de daño en despreciable en color negro, ligero en color verde, moderado en color celeste, severo en color rosado y completo en color rojo tal como se muestra en la Figura 161.

### **Figura 161**

*Estado de daño y nivel de desempeño*

<i>Estado de daño</i>	<i>Nivel de Desempeño</i>	<i>Características principales</i>
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo.
Ligero	Operacional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Pre-Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.
Completo	Colapso	Colapso estructural



Nota: Recuperado de (NEC-SE-DS, 2014)

Una vez entendida la metodología por la cual funciona el programa se presentan los resultados correspondientes al análisis estático no lineal para nuestra configuración A y configuración B explicadas con anterioridad.

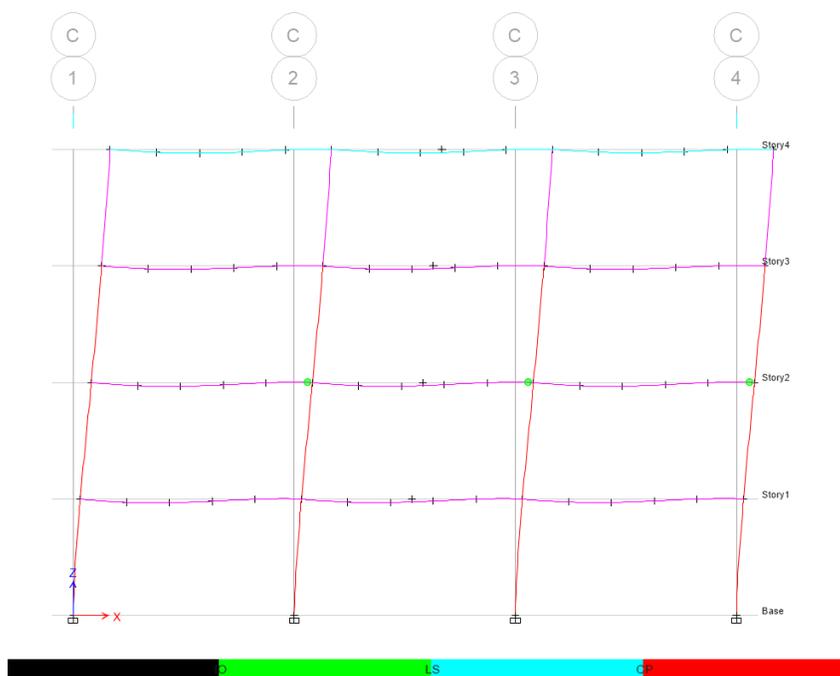
## Configuración A en x

### Formación de rótulas

La edificación en el pórtico C fue la utilizada para su respectivo análisis, nos presenta un estado de daño ligero que se evidencia principalmente en las vigas del piso 2 correspondiente a los ejes 2, 3 y 4 debido a la presencia de rotulas plásticas en dichas secciones las cuales se encuentran señaladas de color verde como se aprecia en la Figura 162.

**Figura 162**

*Pórtico C – Sentido X*

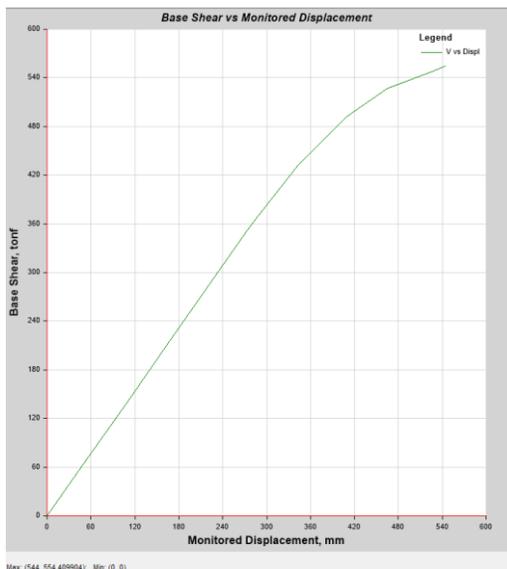


### Curva de capacidad y Punto de desempeño

Se aprecia en la Figura 163, la estructura posee un desplazamiento lateral máximo de 54,4 *cm* al momento en que este se encuentra recibiendo una carga aplicada por un cortante basal de 554,4 *Tonf*.

Figura 163

Curva de capacidad Cortante vs Desplazamiento

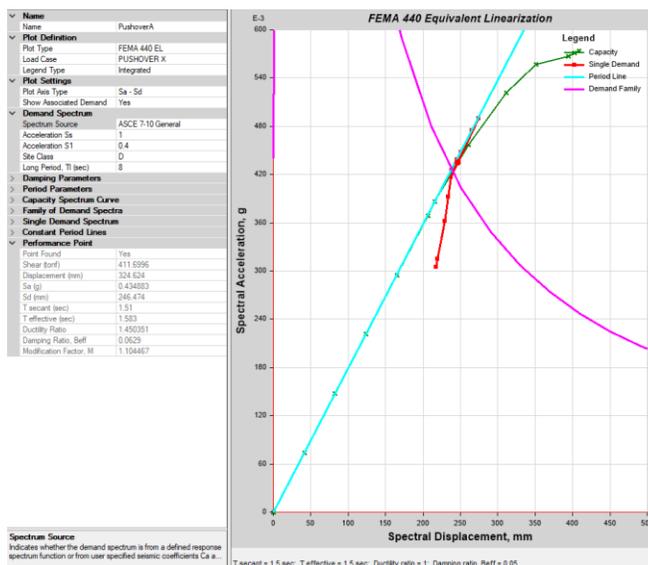


### Curva de linealización equivalente

En la Figura 164, se presenta el modelo para la curva del espectro aceleración-demanda, esta presenta un punto de desempeño cuando el cortante es de 411,69 Tonf con un desplazamiento de 23,46 cm.

Figura 164

Curva de linealización equivalente del Boque G y H en sentido X



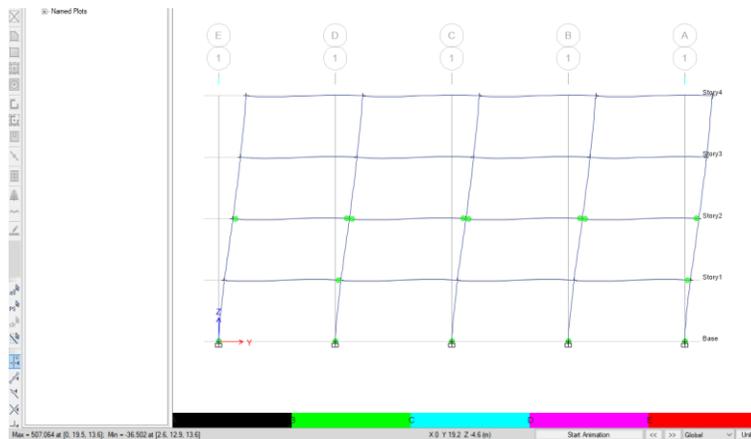
## Configuración 1 en y

### Formación de rótulas

La edificación en el pórtico 1 fue la utilizada para su respectivo análisis, nos presenta un estado de daño ligero que se evidencia principalmente en las vigas del segundo piso correspondiente a los ejes A, B y C, D y E debido a la presencia de rotulas plásticas en dichas secciones las cuales se encuentran señaladas de color verde como se aprecia en la Figura 165.

**Figura 165**

*Pórtico 1 sentido Y*

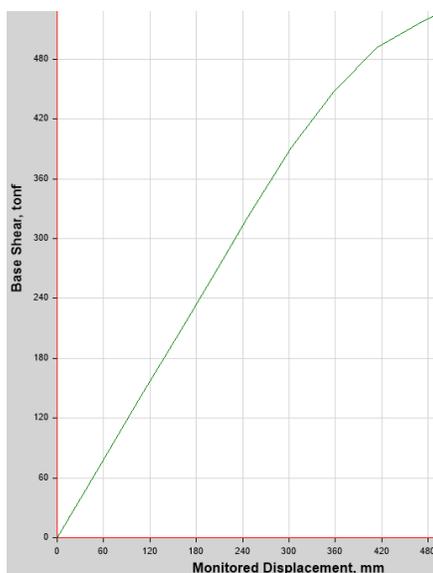


### Curva de capacidad y Punto de desempeño

Se aprecia en la Figura 166, la estructura posee un desplazamiento lateral máximo de  $50,7 \text{ cm}$  al momento en que este se encuentra recibiendo una carga aplicada por un cortante basal de  $510,3 \text{ Tonf}$ .

**Figura 166**

*Curva de capacidad – Cortante vs Desplazamiento*

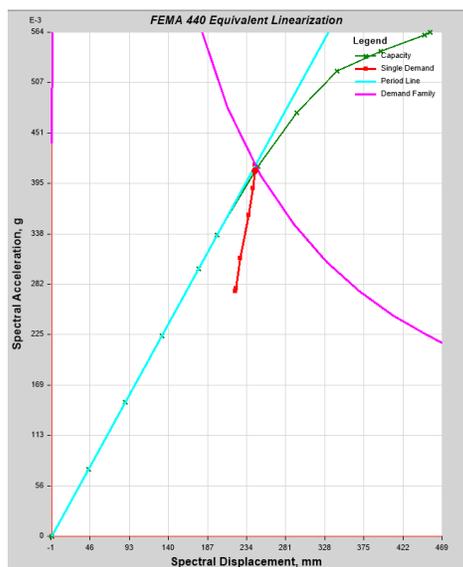


### **Curva de linealización equivalente**

En la Figura 167, se presenta el modelo para la curva del espectro aceleración-demanda, esta presenta un punto de desempeño cuando el cortante es de 401,23 Tonf con un desplazamiento de 23,16 cm.

**Figura 167**

*Curva de linealización - Bloque G y H en sentido Y*



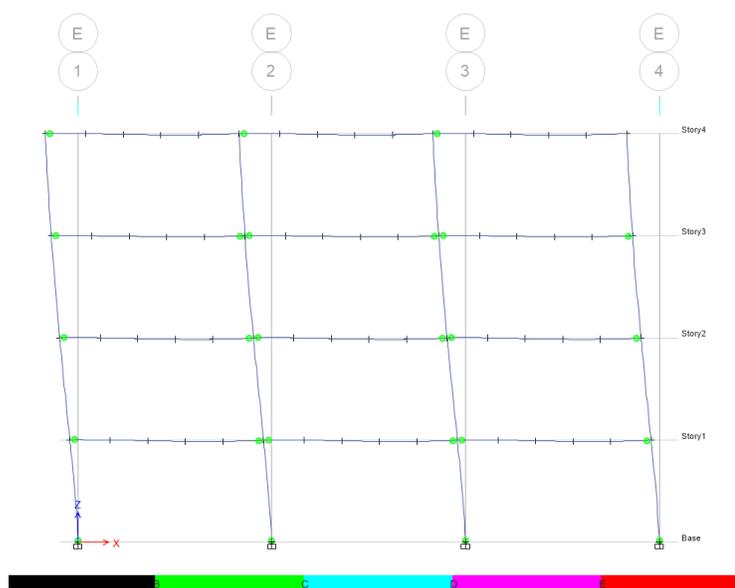
## Configuración B en x

### Formación de rótulas

La edificación en el pórtico E fue la utilizada para su respectivo análisis, nos presenta un estado de daño ligero que se evidencia principalmente en las vigas de toda la estructura debido a la presencia de rotulas plásticas en dichas secciones las cuales se encuentran señaladas de color verde como se aprecia en la Figura 168.

### Figura 168

#### Pórtico E Sentido X

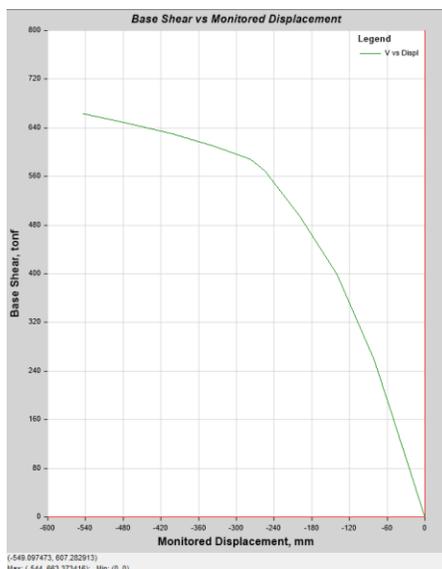


### Curva de capacidad y Punto de desempeño

Se aprecia en la Figura 169, la estructura posee un desplazamiento lateral máximo de  $54,46 \text{ cm}$  al momento en que este se encuentra recibiendo una carga aplicada por un cortante basal de  $663,37 \text{ Tonf}$

**Figura 169**

*Curva de capacidad - Bloque G y H en sentido X*

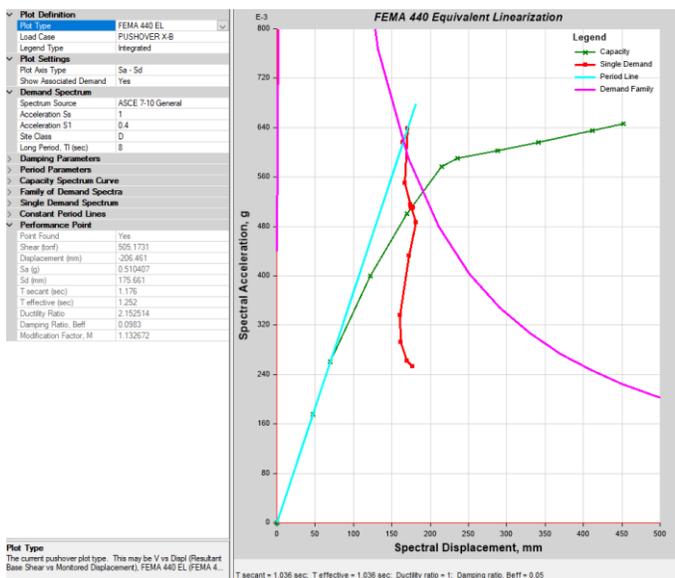


**Curva de linealización equivalente**

En la Figura 170, se presenta el modelo para la curva del espectro aceleración-demanda, esta presenta un punto de desempeño cuando el cortante es de 505,17 Tonf con un desplazamiento de 20,64 cm.

**Figura 170**

*Curva de linealización equivalente - Bloque G y H en sentido X*



## Configuración B en Y

### Formación de rótulas

La edificación en el pórtico 4 fue la utilizada para su respectivo análisis, nos presenta un estado de daño ligero que se evidencia principalmente en las vigas de los dos primeros pisos de la estructura debido a la presencia de rotulas plásticas en dichas secciones las cuales se encuentran señaladas de color verde como se aprecia en la Figura 171.

**Figura 171**

*Pórticos sentido Y: a) pórtico D, b) pórtico H*

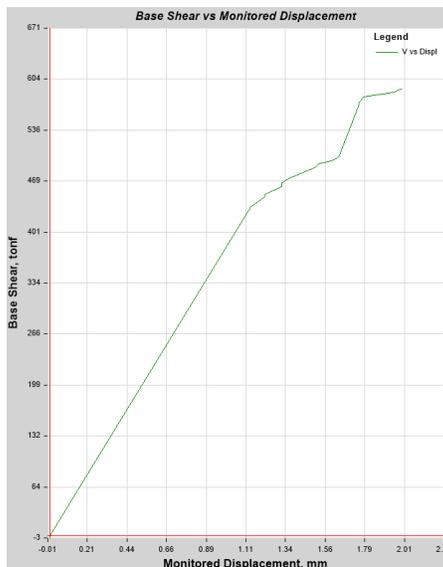


### Curva de capacidad y Punto de desempeño

Se aprecia en la Figura 172, la estructura posee un desplazamiento lateral máximo de  $1,99 \text{ cm}$  al momento en que este se encuentra recibiendo una carga aplicada por un cortante basal de  $590,28 \text{ Tonf}$

**Figura 172**

*Curva de capacidad – Congifuración B Sentido Y*

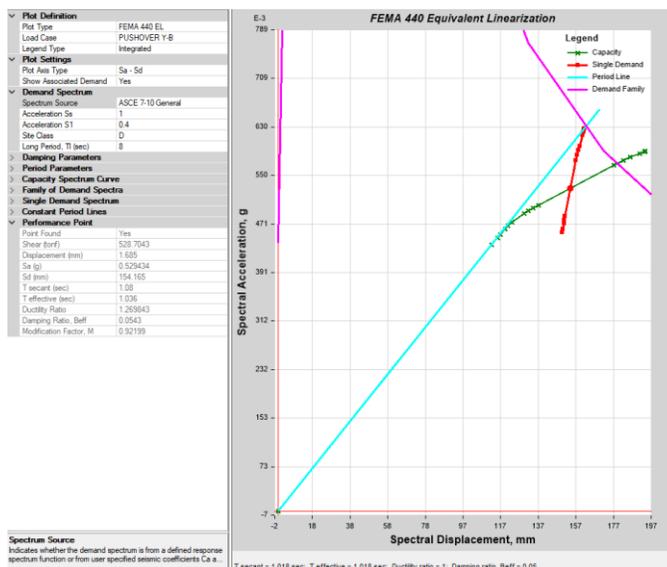


**Curva de linealización equivalente**

En la Figura 173, se presenta el modelo para la curva del espectro aceleración-demanda, esta presenta un punto de desempeño cuando el cortante es de 528,70 *Tonf* con un desplazamiento de 1,68 *cm*.

**Figura 173**

*Curva de linealización equivalente – Configuración B sentido Y*



## Capítulo 7

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- El presente proyecto tuvo como finalidad determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las dos edificaciones se utilizó investigaciones similares anteriores realizadas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de igual manera varias fuentes de investigación adicionales que sirvieron para tener un sustento teórico. Además, se realizó el modelamiento 3D de las edificaciones mediante el software Revit, con el fin tener una visualización panorámica completa de toda la estructura (cimientos, columnas, viguetas tipo celosía, vigas y losas).
- Se desarrollaron ensayos geotécnicos que nos permitieron determinar el tipo de suelo donde están situadas las edificaciones, en base a la onda de corte a los primeros treinta metros de profundidad; además se estableció el periodo de vibración del suelo, este parámetro nos permitió analizar las propiedades del suelo de donde se ubican las edificaciones de estudio.
- Los ensayos de pachómetro y esclerómetro, fueron realizado únicamente para corroborar los materiales con los cuales están construidas las edificaciones tanto en la composición de los antepechos y paredes de cada bloque, es decir, si presentan reforzamiento o la constitución de los antepechos es de hormigón armado. Se comprobó que el proceso constructivo fue a base de bloque y enlucido.
- En las dos edificaciones se realizó la evaluación de vulnerabilidad sísmica mediante la metodología NEC-15, tomando en cuenta que en esta los índices de vulnerabilidad están por debajo de los permisibles, con base a esta indicación los Bloque G y H presentaron una media vulnerabilidad sísmica y requieren una

evaluación especial, que hace referencia a un estudio cuantitativo de la respuesta dinámica de las edificaciones ante cualquier evento sísmico.

- La vulnerabilidad sísmica de las dos edificaciones evaluadas mediante la metodología FEMA P-154 para su evaluación de vulnerabilidad estructural, se aplicó los formularios del Nivel 1 y Nivel 2, dando como resultado una alta vulnerabilidad siendo una variable proporcional directa a la probabilidad de colapso de las estructuras, por esta razón se requiere realizar una evaluación más detallada para cada Bloque, referente a un estudio cuantitativo del desempeño sísmico cada estructura, y se tomarán acciones oportunas a través de los resultados de este estudio.
- Aplicando la metodología FUNVISIS para la evaluación de la vulnerabilidad estructural se muestra que el índice de vulnerabilidad de las dos edificaciones es “Medio bajo”, índice de riesgo “Medio bajo” y el índice de priorización “P7”. En base a estos resultados se determina que para cada edificación se requiere estudios más detallados, enfocado en una evaluación cuantitativa sobre el desempeño sísmico de las estructuras, posteriormente se tomaran decisiones para reducir riesgos ante un evento telúrico.
- Otra metodología que se aplicó para la evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de estudio fue la metodología FEMA P-1000, a partir de la norma FEMA esta metodología es estrictamente para la evaluación de edificaciones destinadas a la educación. Los resultados obtenidos reflejaron una vulnerabilidad sísmica de “Bajo Grado” y un riesgo global “moderado” para ambas edificaciones, esto implica la consideración de implementar medidas preventivas que ayuden a reducir de forma considerable los riesgos ante un evento sísmico.

- Para procesar los datos obtenidos en la instrumentación de las edificaciones será indispensable usar softwares de apoyo que nos permitan evaluar los resultados de una manera eficiente, ya que el Geopsy nos permite obtener frecuencias de las estructuras estudiadas. Los valores obtenidos nos darán una idea de la frecuencia de cada estructura y se procede a comparar estos valores con el software Matlab, el cual además determinará las características de cada edificación en la frecuencia que se le ingresa al programa, obteniendo como resultados gráficos que nos permitirá evaluar la frecuencia ingresada de cada estructura con la finalidad de calcular su periodo fundamental.
- La eficiencia de la información generada mediante los modelos analíticos computacionales dependerá de la exactitud de los parámetros ingresados, por lo cual es importante recopilar todos los detalles y por menores que se presentaron al momento de realizar el diseño y construcción de la edificación, para obtener datos fiables.
- La comparación entre los ensayos de vibración ambiental y el modelo generado por el software ETABS generan datos referentes a los periodos y los modos de vibrar, se compara los tres primeros periodos fundamentales, de los cuales se obtendrá el factor de corrección de respuesta y de estos se obtendrá un periodo, para el presente análisis la información arrojada varía debido a que en campo se realizó la construcción con columnas mixtas mientras que en el software ETABS las columnas se diseñaron solo con perfiles tubulares, si bien el software nos permite colocar columnas mixtas, al momento de colocar las rotulas plásticas este nos muestra un mensaje de advertencia por lo que la veracidad de la información se verá afectada.

## Recomendaciones

- Es fundamental recopilar la información de las edificaciones de estudio cuanto, a planos estructurales y planos arquitectónicos, para verificar el sistema constructivo, las características de los materiales y elementos que componen los elementos de cada estructura de estudio.
- Durante la realización de los ensayos se debe respetar los protocolos y medidas de seguridad, con el fin de precautelar la seguridad e integridad de los operadores y equipos empleados en cada ensayo, por motivo del alto costo que representa cada equipo. Adicional, se debe dar conocimiento al personal que se encuentre en los alrededores del sitio donde se va a realizar el ensayo.
- Se debe revisar la traducción del idioma inglés al español de los formularios de cada metodología, para no producir conflictos al momento de considerar cada parámetro de análisis, ya que esto podría provocar un ineficiente asertividad en los resultados de la metodología aplicada.
- Las solicitudes para realizar los ensayos se deben realizar con anticipación para que el director de la carrera de ingeniería civil tenga suficiente tiempo de aprobar el uso de los equipos, de igual manera presentar el formato de “Registro de prácticas de laboratorios” para poder retirar los equipos en el laboratorio de suelos. Para el ensayo de vibración ambiental se debe realizar una solicitud a la Dra. Ana Haro para poder utilizar los equipos, adicional también una solicitud al departamento encargado de la edificación donde se va a realizar el ensayo para poder permanecer en las instalaciones.
- Para realizar el ensayo de vibración ambiental se debe instrumentar la edificación y los pisos según sea la combinación adecuada, colocar los acelerómetros a 10 cm de la losa en la unión viga-columna, protegiendo la pared con una cinta aislante, siempre y cuando no se vea afectada la señal, luego

pegar con un epóxico los cubos metálicos. Manejar los cables con mucho cuidado y evitar pisarlos o estropearlos, ya que son delicados; pues son los encargados de recibir las señales desde los acelerómetros hacia el dispositivo de adquisición de datos. Además, asegurarse que la edificación este completamente vacía para que los resultados del ensayo sean los esperados.

- Antes de procesar los datos es recomendable usar otros softwares de apoyo como el Geopsy el cual nos dará datos de frecuencias que nos permitirá comparar con las obtenidas en MATLAB, de manera que, al correr los programas, se pueda identificar en que valor de frecuencia se debe evaluar las características de la estructura.
- El contacto con estudiantes que conocen de los ensayos a realizar en el presente proyecto es fundamental, debido a que así se tendrá una mejor guía para poder realizar los ensayos de una mejor manera a partir de los conocimientos impartidos por estos estudiantes.
- Para optimizar el proceso del modelado, es importante maximizar una correcta ejecución de dicho modelado, ya sea con el uso de una computadora potente que permita correr el programa sin problema o reduciendo la cantidad de parámetros a analizar, en el caso del ETABS podemos definir qué elementos queremos correr tanto para el análisis lineal como para el no lineal y de igual manera, reducir el número de miembros que se presentan en el modelo; para este caso se optó por realizar el cálculo de una viga equivalente para optimizar su ejecución y arrojar resultados de una manera más eficiente.

### Referencias

- Aguiar, R. (2012). Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB. (I. P. IPGH, Ed.) *ReserchGate*, 2, 427. Recuperado el 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/279914782\\_Dinamica\\_de\\_Estructuras\\_con\\_CEINCI-LAB](https://www.researchgate.net/publication/279914782_Dinamica_de_Estructuras_con_CEINCI-LAB)
- Alamgro Oña, P. A., & Paredes Jaramillo, E. X. (2016). Quito.
- Amaguaña, D., & Yumbal, E. (2016). Análisis de la influencia del número de modos de vibración en la respuesta total de estructuras de hormigón armado. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/6933/1/T-UCE-0011-226.pdf>
- Andrade, C., Lozano, J., Seguí, V., Vinces, E., & Hernández, E. (1992). *Identificación de presencia de cemento aluminoso en hormigones mediante el uso del pachómetro*. Obtenido de Obtenido de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/91846/1/Informes%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%2044%28419%29%2065-70%20%281992%29.pdf>
- Arandi Rodríguez, M. (2011). *Geofísica Aplicada a la Obra Civil. Método Geoléctrico y Sísmica de Refracción. Casos Prácticos*. Valencia, España: Geoconsult Ingenieros Consultores.
- Arcentales, N., & Yépez, V. (2020). *Evaluación de la respuesta dinámica del Hospital Naval General Hosnag sometido a vibración ambiental*. Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21866/1/T-ESPE-043469.pdf>
- ASCE, American Society of Civil Engineers. (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. United States of America. Obtenido de <http://by.genie.uottawa.ca/~murat/ASCE%2041-06%20%28rehabilitation%29.pdf>

- Asociación latinoamericana del Acero. (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero*. Argentina. Obtenido de [https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/disen%C3%B3\\_sismorresistente\\_de\\_construcciones\\_de\\_acero-5ta\\_ed.pdf](https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/disen%C3%B3_sismorresistente_de_construcciones_de_acero-5ta_ed.pdf)
- ASTM D5777. (2010). *Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation*. West Conshohocken: ASTM Ed.
- Avilés, L. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito, Quito, Ecuador*.
- Ballesteros, K., & Caizaguano, D. (2020). *Guía para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas en la parroquia de Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/22553/1/T-ESPE-043869.pdf>
- Boroschek, R. (2015). *Dinámica de Estructuras Apuntes de Clase*. (U. d. Chile, Ed.) Santiago de Chile, Chile. Obtenido de [https://boroschek.files.wordpress.com/2016/04/dinamicaestructuras20120730v0\\_2.pdf](https://boroschek.files.wordpress.com/2016/04/dinamicaestructuras20120730v0_2.pdf)
- Caballero Guerrero, A. R. (Julio de 2007). Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica. Sincelejo. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10584/105>
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2014). *Mecánica de Estructuras*. Barcelona.
- CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO. (2003). *Normas de Arquitectura y Urbanismo*. Comisión de Planificación y Nomenclatura, Quito. Obtenido de [https://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A)

%C3%91OS%20ANTERIORES/ORD-3457%20-%20NORMAS%20DE%20ARQUITECTURA%20Y%20URBANISMO.pdf

Esquivel, L. (2016). Mediciones de vibraciones ambientales en tres edificios de concreto reforzado de 28, 11 y 6 pisos. *Scielo*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2016000200081](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000200081)

ETABS. (2019).

FEMA. (2016). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook.

FEMA P-154. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook* . (Tercera ed.). Washington, D.C. Obtenido de [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema\\_earthquakes\\_rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards-a-handbook-third-edition-fema-p-154.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_earthquakes_rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards-a-handbook-third-edition-fema-p-154.pdf)

FUNVISIS. (2014). Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico. Caracas, Venezuela: Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación.

García Núñez, M. A. (2018). Estudio sobre la efectividad del factor de sobrerresistencia del criterio columna fuerte-viga débil. Barcelona, España. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/159237527.pdf>

Geoseismic. (2017). *Método sísmico HVSR o técnica de Nakamura* . Obtenido de Obtenido de geoseismic.cl: <http://www.geoseismic.cl/metodo-sismico-hvsr-tecnica-nakamura/>

- Gómez Martínez, M. (2011). Diseño Estructural de Edificios Altos Tipo Torre Empleando Concreto de Alta Resistencia. México D.F. Obtenido de [http://132.248.9.195/ptb2011/reemplazo/0622690/0622690\\_A1.pdf](http://132.248.9.195/ptb2011/reemplazo/0622690/0622690_A1.pdf)
- Guardo Polo, J. (1999). Estudios geotécnicos Una necesidad en obras civiles. *Revista: Ingeniería & Desarrollo*, 117-126.
- Guendelman, T., Guendelman, M., & Lindenberg, J. (2000). Perfil bio-sísmico de edificios. *Revista Técnica de la Construcción*(17).
- Guevara Morales, N. E., Osorio Rodríguez, S. A., & Vargas, E. A. (2006). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA DE LAS INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA, UTILIZANDO ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER)*. El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/4522/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20capacidad%20estructural%20del%20edificio%20de%20la%20Biblioteca%20de%20las%20Ingenier%C3%ADas%20y%20arquitectura%2C%20utilizandoan%C3%A1lisis%20est%C3%A1tico%20no%20lineal%20%28Pushover%29.pdf>
- Importaceros. (s.f.). *Importaceros.com*. Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/losa-deck/>
- INEN. (2001). Código Ecuatoriano de la Construcción: Requisitos Generales de Diseño. Quito, Ecuador. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5\\_parte\\_1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5_parte_1.pdf)
- Krawinkler, H., & Seneviratna, G. (1998). Pros and Cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*, 20(4-6), 452-464. doi:[https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(97\)00092-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00092-8)
- López, J., Mejía, J., & Vega, N. (2008). Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P. San Salvador. Obtenido de

<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4379/1/Aplicaci%C3%B3n%20del%20m%C3%A9todo%20de%20refracci%C3%B3n%20sismica%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20velocidades%20de%20ondas%20%20P.pdf>

López, W., Marcillo, R., Pilco, R., & Villamizar, V. (2021). *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Sangolquí. Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26074>

MIDUVI & CAMICON. (2015). *PELIGRO SÍSMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE*.

Obtenido de [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf)

[content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf)

MIDUVI. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

MIDUVI. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito,

Ecuador. Obtenido de [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf)

[content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf)

MIDUVI, & CAMICON. (2014). *NEC: Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente*.

Obtenido de Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.:

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>

Navarro Ugena, C., & Pérez Castellanos, J. L. (1999). *Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras. Ingeniería estructural*. Madrid.

- Naya, V. A. (2010). EL RIESGO SÍSMICO EN QUITO: ANÁLISIS Y SIMULACIONES. Quito, Ecuador. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/280637508\\_El\\_riesgo\\_sismico\\_en\\_Quito\\_analisis\\_y\\_simulaciones](https://www.researchgate.net/publication/280637508_El_riesgo_sismico_en_Quito_analisis_y_simulaciones)
- NEC-15. (2015). *NEC-SE-DS (Peligro sísmico - Diseño sismo resistente)*. Quito, Ecuador: MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>
- NEC-SE-DS. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente*.
- OTAVALO ALBA, J. H. (2017). *Determinación de los principales problemas de configuración estructural en edificaciones, que aumentan la vulnerabilidad sísmica en el Ecuador*. Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11856>
- Páez, C. (2014). *Determinación de la carga permanente debida al peso de mampostería de bloque en edificaciones de vivienda*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6390>
- Prato, C. (2015). *METODO MODAL ESPECTRAL*. Obtenido de [http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/estruct/ae/apuntes/INGENIERIA%20SISMICA%20-%20Metodo%20modal%20espectral%20\(2016\).pdf](http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/estruct/ae/apuntes/INGENIERIA%20SISMICA%20-%20Metodo%20modal%20espectral%20(2016).pdf)
- Rudeli, N., & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. *Revista: Obras y Proyectos*, 22, 6-16. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132017000200006>

- Safina Melone, S. (diciembre de 2022). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93538>
- Salas, C. (2016). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONEXIONES DE MOMENTO USANDO PERFILES T SOLDADOS*. Santiago de Chile. Obtenido de [https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/53\\_tesis\\_sobre\\_conexiones\\_a\\_momento\\_perfiles\\_soldados.pdf](https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/53_tesis_sobre_conexiones_a_momento_perfiles_soldados.pdf)
- Sarmah, T., & Sutapa, D. (2017). Earthquake Vulnerability Assessment for RCC Buildings of Guwahati City using Rapid Visual Screening. *ScienceDirect*, 8. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.028>
- Schmidt, V. (2014). Clasificación de suelos de 15 estaciones acelerográficas, mediante el uso de métodos basados en vibraciones ambientales y del parámetro Vs30. *Revista Geológica de América Central*(51), 33-67. doi:10.15517/rgac.v51i1.16850
- SCI Control e Inspección. (s.f.). *Ensayo no destructivo: Tipos y funciones*. Obtenido de [scisa.es: https://scisa.es/ensayo-no-destructivo/](https://scisa.es/ensayo-no-destructivo/)
- Segovia, M., & Alvarado, A. (2009). Breve análisis de la sismicidad y del campo de esfuerzos en el Ecuador, en geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador desde la costa continental hasta las islas Galápagos. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers12-04/010051349.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-04/010051349.pdf)
- Souza, J. C. (25 de Junio de 2021). *¿Qué significan las grietas en las estructuras de hormigón?* Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/880210/que-significan-las-grietas-en-las-estructuras-de-hormigon>

Valverde, J., Fernández, J., Jiménez, E., Vaca, T., & Alarcón, F. (2011).

*Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito*. Quito, Ecuador.

Zhao, o., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P., Asano, A., . . . Ogawa, H.

(junio de 2006). An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, 914-925. doi:10.1785/0120050124

## **Apéndices**

**Apéndice 1.** Fotografías de los Ensayos de Sísmica de refracción

**Apéndice 2.** Fotografías de los Ensayos de Nakamura.

**Apéndice 3.** Fotografías de los Ensayos no destructivos.

**Apéndice 4.** Fotografías de los Ensayos vibración ambiental

**Apéndice 5.** Meta data de la instrumentación en las edificaciones.

**Apéndice 6.** Formularios NEC-15 empleados para el análisis de la vulnerabilidad estructural.

**Apéndice 7.** Formularios FEMA P-154 empleados para el análisis de la vulnerabilidad estructural.

**Apéndice 8.** Formularios FUNVISIS empleados para el análisis de la vulnerabilidad estructural.

**Apéndice 9.** Formularios FEMA P-1000 empleados para el análisis de la vulnerabilidad estructural.

**Apéndice 10.** Modelos tridimensionales y planos estructurales desarrollados en el software Revit Bloque G.

**Apéndice 11.** Modelos tridimensionales y planos estructurales desarrollados en el software Revit Bloque H.