



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**TEMA:**

---

“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS  
ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUADELA EL DORADO DE LA  
PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE  
TUNGURAHUA”

---

**AUTOR:**

SARANGO ÁLVAREZ DAMIÁN ALEXANDER

**TUTOR:**

ING. Mg. GALO NUÑEZ

**Ambato – Ecuador**

**2018**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Galo Núñez, certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUDADELA EL DORADO DE LA PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA” es de autoría del Sr. Sarango Álvarez Damián Alexander, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Septiembre del 2018

-----  
Ing. Mg. Galo Núñez

## **AUTORÍA**

Yo, Sarango Álvarez Damián Alexander con C.I: 160061248-3, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUDADELA EL DORADO DE LA PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA” es de mi completa autoría.

Ambato, Septiembre del 2018

---

Sarango Álvarez Damián Alexander

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre del 2018

---

Sarango Álvarez Damián Alexander

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUDADELA EL DORADO DE LA PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, del egresado Sarango Álvarez Damián Alexander, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Septiembre del 2018

Para constancia firman.

-----  
Ing. Mg. Maritza Ureña

-----  
Ing. Mg. Lenin Maldonado

## **DEDICATORIA**

A Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría para poder concluir este logro de mi vida.

A mis padres, Ángel Sarango e Ivonne Álvarez, por haberme dado el estudio a pesar de todas las adversidades, por guiarme en mi formación tanto profesional como espiritual, gracias por ser mi inspiración y por brindarme todo su apoyo.

A mis hermanos, Darío y Ángela, por confiar en mí y apoyarme en las metas de mi vida.

A mis abuelitos, por todo el ánimo y confianza depositada en mí para la finalización de mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por tantas bendiciones que me ha dado a lo largo de la vida.

A mis padres por brindarme su apoyo y ejemplo para poder seguir adelante, gracias por enseñarme que si uno se propone algo lo puede lograr.

A mi familia, por brindarme todo su apoyo y estar siempre pendientes de mí durante toda mi vida.

A mis tíos, Marlon y Paty por compartirme sus sabios conocimientos y por enseñarme todo lo que se puede lograr con esta carrera.

Al Ing. Mg. Galo Núñez por los conocimientos impartidos y por tiempo dedicado para la realización de este trabajo.

A mi novia Rosita, por bríndame su apoyo y siempre confiar en mí, de igual manera a mi compañero y amigo Danny, con quienes pase grandes alegrías en el transcurso de mi formación como profesional, mis futuros colegas.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### A.- PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA .....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVIII
ABSTRACT .....	XIX
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
ANTECEDENTES .....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
<i>CAPITULO II</i> .....	5
FUNDAMENTACIÓN .....	5
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1.1. Tectónica de Placas .....	5
2.1.2. Peligro Sísmico y Riesgo Sísmico .....	13
2.2. HIPÓTESIS .....	34
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS .....	34
2.3.1. Variable Dependiente.....	34
2.3.2. Variable Independiente.....	34
<b>CAPÍTULO III</b> .....	35
METODOLOGÍA .....	35

<b>3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	35
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	35
<b>3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b> .....	37
Variable Independiente .....	37
Variable Dependiente .....	38
<b>3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	39
<b>3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS</b> .....	40
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	41
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	41
<b>4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	41
4.1.1. Régimen Tectónico .....	41
4.1.2. Zona de Estudio .....	42
4.1.3. Ubicación de las perforaciones .....	42
4.1.4. Selección de Fallas Geológicas más Representativas .....	44
4.1.5. Características del Suelo .....	47
4.1.5.1. Procedimiento de clasificación .....	47
4.1.5.2. Clasificación del suelo según el SUCS .....	49
4.1.5.3. Ensayo de Penetración Estándar (SPT) .....	55
4.1.5.4. Velocidad Media de la Onda de Cortante $V_{s30}$ .....	60
4.1.6. Ecuaciones de atenuación para Cortical Intraplaca .....	62
4.1.6.1. Modelo Boore y Atkinson (2008) .....	62
4.1.6.2. Modelo Akkar y Bommer (2010) .....	64
4.1.6.3. Modelo Kanno (2006).....	64
4.1.7. Ecuaciones de atenuación para Subducción Interplaca .....	65
4.1.7.1. Modelo Youngs (1997) .....	66
4.1.7.2. Modelo Zhao (2006) .....	66
<b>4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	67
4.2.1. Magnitud de las fallas .....	67
4.2.1.1. Cortical Intraplaca.....	67
4.2.1.2. Subducción Interplaca .....	67
4.2.2. Cálculo de Espectros .....	68
4.2.2.1. Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson .....	69
4.2.2.2. Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer .....	70
4.2.2.3. Espectros calculados con el modelo de Kanno .....	71

4.2.2.4.	Espectro calculado con el modelo de Youngs .....	72
4.2.2.5.	Espectro calculado con el modelo de Zhao .....	73
4.2.2.6.	Espectro con los modelos para una falla .....	74
4.2.2.6.1.	Espectros para la Falla de Ambato .....	74
4.2.2.6.2.	Espectros para la Falla de Huachi .....	75
4.2.2.6.3.	Espectros para la Falla de Totoras .....	76
4.2.2.6.4.	Espectros para la Falla de Subducción.....	77
4.2.2.7.	Espectro de la NEC 2015 .....	78
4.2.2.8.	Comparación entre los espectros de las principales fallas y la NEC 2015	80
4.2.2.8.1.	Espectros para la Falla de Ambato comparado con la NEC 2015	80
4.2.2.8.2.	Espectros para la Falla de Huachi comparado con la NEC 2015	81
4.2.2.8.3.	Espectros para la Falla de Totoras comparado con la NEC 2015	82
4.2.2.8.4.	Espectros para la Falla de Subducción comparado con la NEC 2015	83
4.2.2.9.	Espectros de todos los modelos .....	87
4.2.2.10.	Espectro determinista comparado con la NEC 2015 .....	87
4.2.3.	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	90
4.2.3.1.	Estructura de 3 pisos.....	91
4.2.3.1.1.	Características de la edificación.....	91
4.2.3.1.2.	Determinación del período de vibración fundamental.....	95
4.2.3.1.3.	Determinación de los modos de vibración.....	96
4.2.3.1.4.	Cortante Basal Estático.....	97
4.2.3.1.5.	Cortante Basal Dinámico .....	101
4.2.3.1.6.	Análisis de Derivas .....	104
4.2.3.1.7.	Diseño de la estructura.....	112
4.2.3.2.	Estructura de 2 pisos.....	121
4.2.3.2.1.	Características de la edificación.....	121
4.2.3.2.2.	Determinación del período de vibración fundamental.....	125
4.2.3.2.3.	Determinación de los modos de vibración.....	126
4.2.3.2.4.	Cortante Basal Estático.....	127
4.2.3.2.5.	Cortante Basal Dinámico .....	131
4.2.3.2.6.	Análisis de Derivas .....	134

4.2.3.2.7. Diseño de la estructura.....	141
4.2.3.3. Estructura de 1 piso .....	151
4.2.3.3.1. Características de la edificación.....	151
4.2.3.3.2. Determinación del período de vibración fundamental.....	154
4.2.3.3.3. Determinación de los modos de vibración.....	155
4.2.3.3.4. Cortante Basal Estático.....	156
4.2.3.3.5. Cortante Basal Dinámico .....	159
4.2.3.3.6. Análisis de Derivas .....	161
4.2.3.3.7. Diseño de la estructura.....	167
4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	174
CAPÍTULO V.....	175
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	175
5.1. CONCLUSIONES.....	175
5.2. RECOMENDACIONES.....	177
1. BIBLIOGRAFÍA.....	179
2. ANEXOS.....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Estadísticas para el año 2013 del número de sismos por tipo de fuente ....	16
<b>Tabla 2.-</b> Terremotos del Ecuador con intensidades $\geq$ VIII .....	18
<b>Tabla 3.-</b> Intensidad histórica máxima en cada Provincia.....	20
<b>Tabla 4.-</b> Valores de variables para diferentes tipos de fallas.....	27
<b>Tabla 5.-</b> Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M).....	33
<b>Tabla 6.-</b> Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (Mw).....	34
<b>Tabla 7.-</b> Operacionalización de la variable independiente .....	37
<b>Tabla 8.-</b> Operacionalización de la variable dependiente .....	38
<b>Tabla 9.-</b> Plan de recolección de información.....	39
<b>Tabla 10.-</b> Ubicación de los ensayo SPT .....	43
<b>Tabla 11.-</b> Fallas Geológicas.....	45
<b>Tabla 12.-</b> Clasificación de los perfiles de suelo.....	48
<b>Tabla 13.-</b> Clasificación de suelos.....	50
<b>Tabla 14.-</b> Clasificación de Suelo para la perforación N°1 .....	51
<b>Tabla 15.-</b> Clasificación de Suelo para la perforación N°2.....	52
<b>Tabla 16.-</b> Clasificación de Suelo para la perforación N°3.....	53
<b>Tabla 17.-</b> Clasificación de Suelo para la perforación N°4.....	54
<b>Tabla 18.-</b> Clasificación de Suelo para la perforación N°5.....	54
<b>Tabla 19.-</b> Ensayo de Penetración Estándar N°1 .....	56
<b>Tabla 20.-</b> Ensayo de Penetración Estándar N°2 .....	57
<b>Tabla 21.-</b> Ensayo de Penetración Estándar N°3 .....	58
<b>Tabla 22.-</b> Ensayo de Penetración Estándar N°4 .....	59
<b>Tabla 23.-</b> Ensayo de Penetración Estándar N°5 .....	59
<b>Tabla 24.-</b> Valores de Velocidad de Onda Cortante ( $V_{S30}$ ).....	61
<b>Tabla 25.-</b> Variables usadas para el cálculo de $F_D$ .....	63
<b>Tabla 26.-</b> Variables usadas para el cálculo de $F_M$ .....	63
<b>Tabla 27.-</b> Variable usada para el cálculo de $F_S$ .....	63
<b>Tabla 28.-</b> Valores utilizados en el método de Akkar y Bommer .....	64
<b>Tabla 29.-</b> Valores utilizados en el método de Kanno .....	65
<b>Tabla 30.-</b> Valores utilizados en el método de Youngs.....	66
<b>Tabla 31.-</b> Valores utilizados en el método de Zhao.....	67
<b>Tabla 32.-</b> Magnitud de Momento (Mw) para cada falla seleccionada.....	68
<b>Tabla 33.-</b> Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Boore & Atkinson 2008.....	70
<b>Tabla 34.-</b> Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Akkar & Bommer 2010 .....	71
<b>Tabla 35.-</b> Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Kanno 2006 .....	72

<b>Tabla 36.-</b> Valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Youngs 1997 .....	73
<b>Tabla 37.-</b> Valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Zhao 2006 .....	74
<b>Tabla 38.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Ambato.....	75
<b>Tabla 39.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Huachi .....	76
<b>Tabla 40.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Totoras .....	77
<b>Tabla 41.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Subducción.....	78
<b>Tabla 42.-</b> Factores para el espectro de la NEC 2015 .....	78
<b>Tabla 43.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Ambato.....	80
<b>Tabla 44.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Huachi .....	82
<b>Tabla 45.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Totoras .....	83
<b>Tabla 46.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Subducción.....	84
<b>Tabla 47.-</b> Relación entre valores de PGA comparados con la NEC 2015.....	84
<b>Tabla 48.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración comparados con la NEC 2015 .....	85
<b>Tabla 49.-</b> Períodos en que se presentan las aceleraciones máximas.....	86
<b>Tabla 50.-</b> Valores para el espectro de aceleración crítica.....	88
<b>Tabla 51.-</b> Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados entre la NEC 2015 y el espectro Determinista.....	90
<b>Tabla 52.-</b> Características estructurales de la edificación .....	91
<b>Tabla 53.-</b> Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración.....	97
<b>Tabla 54.-</b> Variables para el cálculo del coeficiente basal .....	98
<b>Tabla 55.-</b> Porcentaje de participación modal de la masa .....	101
<b>Tabla 56.-</b> Ajuste de Cortante Basal NEC 2015 .....	103
<b>Tabla 57.-</b> Ajuste de Cortante Basal Determinista.....	104
<b>Tabla 58.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	106
<b>Tabla 59.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	106
<b>Tabla 60.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	109
<b>Tabla 61.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	110
<b>Tabla 62.-</b> Demanda – Capacidad en Columnas .....	120
<b>Tabla 63.-</b> Características estructurales de la edificación .....	121
<b>Tabla 64.-</b> Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración.....	127
<b>Tabla 65.-</b> Variables para el cálculo del coeficiente basal .....	128
<b>Tabla 66.-</b> Porcentaje de participación modal de la masa .....	131
<b>Tabla 67.-</b> Ajuste de Cortante Basal NEC 2015 .....	133
<b>Tabla 68.-</b> Ajuste de Cortante Basal Determinista.....	133
<b>Tabla 69.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	135

<b>Tabla 70.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	136
<b>Tabla 71.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	139
<b>Tabla 72.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	139
<b>Tabla 73.-</b> Demanda – Capacidad en Columnas .....	150
<b>Tabla 74.-</b> Características estructurales de la edificación .....	151
<b>Tabla 75.-</b> Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración.....	155
<b>Tabla 76.-</b> Variables para el cálculo del coeficiente basal .....	156
<b>Tabla 77.-</b> Porcentaje de participación modal de la masa .....	159
<b>Tabla 78.-</b> Ajuste de Cortante Basal NEC 2015 .....	161
<b>Tabla 79.-</b> Ajuste de Cortante Basal Determinista.....	161
<b>Tabla 80.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	163
<b>Tabla 81.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	163
<b>Tabla 82.-</b> Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015 .....	166
<b>Tabla 83.-</b> Derivas Inelásticas Espectro Determinista .....	166
<b>Tabla 84.-</b> Demanda – Capacidad en Columnas .....	174

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Principales placas tectónicas de la Tierra.....	5
<b>Figura 2.-</b> Epicentros de sismos a nivel mundial .....	6
<b>Figura 3.-</b> Borde divergente .....	6
<b>Figura 4.-</b> Borde convergente .....	7
<b>Figura 5.-</b> Borde de falla transformante .....	7
<b>Figura 6.-</b> Hipocentro y Epicentro .....	8
<b>Figura 7.-</b> Falla Normal.....	9
<b>Figura 8.-</b> Falla inversa .....	9
<b>Figura 9.-</b> Falla transformante.....	10
<b>Figura 10.-</b> Llegadas de los tipos de ondas .....	10
<b>Figura 11.-</b> Ondas P .....	11
<b>Figura 12.-</b> Ondas Secundarias .....	11
<b>Figura 13.-</b> Ondas Rayleigh .....	12
<b>Figura 14.-</b> Ondas Love .....	12
<b>Figura 15.-</b> Mapa global de amenaza sísmica.....	14
<b>Figura 16.-</b> Pasos de un análisis de peligro sísmico determinista.....	15
<b>Figura 17.-</b> Distribución de los sismos registrados en el 2013 de las Fuentes de Subducción.....	17
<b>Figura 18.-</b> Distribución de los sismos registrados en el 2013 de las Fuentes Corticales.....	17
<b>Figura 19.-</b> Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador.....	21
<b>Figura 20.-</b> Valores de sigma ( $\sigma$ ) .....	29
<b>Figura 21.-</b> Área de estudio.....	42
<b>Figura 22.-</b> Ubicación de los ensayos SPT .....	43
<b>Figura 23.-</b> Fallas Geológicas de Ecuador .....	44
<b>Figura 24.-</b> Fallas Geológicas Tungurahua .....	44
<b>Figura 25.-</b> Fallas Geológicas en el Área de Estudio.....	45
<b>Figura 26.-</b> Espectro de aceleración modelo Boore y Atkinson 2008 .....	69
<b>Figura 27.-</b> Espectro de aceleración modelo Akkar y Bommer 2010.....	70
<b>Figura 28.-</b> Espectro de aceleración modelo Kanno 2006 .....	71
<b>Figura 29.-</b> Espectro de aceleración modelo Youngs 1997 .....	72
<b>Figura 30.-</b> Espectro de aceleración modelo Zhao 2006.....	73
<b>Figura 31.-</b> Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Ambato, Mw = 6.5; Rjb = 0.084Km .....	74
<b>Figura 32.-</b> Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Huachi, Mw = 6.3; Rjb = 1.20 Km .....	75
<b>Figura 33.-</b> Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Totoras, Mw = 6.5; Rjb = 4.23 Km.....	76
<b>Figura 34.-</b> Espectro de Youngs; Zhao para la Falla de Subducción, Mw = 9.3; Rjb = 306.65 Km.....	77
<b>Figura 35.-</b> Espectro Elástico NEC 2015 .....	79
<b>Figura 36.-</b> Espectro de la Falla de Ambato, Mw = 6.5; Rjb = 0.084Km comparado con la NEC 2015 .....	80

<b>Figura 37.-</b> Espectro de la Falla de Huachi, $M_w = 6.3$ ; $R_{jb} = 1.2\text{Km}$ comparado con la NEC 2015.....	81
<b>Figura 38.-</b> Espectro de la Falla de Totoras, $M_w = 6.5$ ; $R_{jb} = 4.23\text{Km}$ comparado con la NEC 2015 .....	82
<b>Figura 39.-</b> Espectro de la Falla de Subducción, $M_w = 9.3$ ; $R_{jb} = 306.65\text{Km}$ comparado con la NEC 2015 .....	83
<b>Figura 40.-</b> Todos los espectros .....	87
<b>Figura 41.-</b> Espectro crítico comparado con la NEC-2015.....	89
<b>Figura 42.-</b> Plano arquitectónico .....	92
<b>Figura 43.-</b> Modelado estructural de la edificación .....	93
<b>Figura 44.-</b> Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,70m .....	94
<b>Figura 45.-</b> Vista en elevación de la edificación.....	95
<b>Figura 46.-</b> Período de vibración fundamental .....	96
<b>Figura 47.-</b> Determinación de $S_a(T_a)$ .....	99
<b>Figura 48.-</b> Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista...	100
<b>Figura 49.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido X .....	102
<b>Figura 50.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido Y .....	102
<b>Figura 51.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X .....	105
<b>Figura 52.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y .....	105
<b>Figura 53.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	107
<b>Figura 54.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	107
<b>Figura 55.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X .....	108
<b>Figura 56.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y .....	109
<b>Figura 57.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	110
<b>Figura 58.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	111
<b>Figura 59.-</b> Acero Longitudinal NEC 2015 .....	112
<b>Figura 60.-</b> Acero Longitudinal Determinista.....	113
<b>Figura 61.-</b> Acero de Corte NEC 2015 .....	114
<b>Figura 62.-</b> Acero de Corte Determinista.....	115
<b>Figura 63.-</b> Porcentaje de Acero NEC 2015 .....	116
<b>Figura 64.-</b> Porcentaje de Acero Determinista.....	117
<b>Figura 65.-</b> Demanda - Capacidad NEC 2015 .....	118
<b>Figura 66.-</b> Demanda - Capacidad Determinista.....	119
<b>Figura 67.-</b> Plano arquitectónico .....	122
<b>Figura 68.-</b> Modelado estructural de la edificación .....	123
<b>Figura 69.-</b> Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,88m .....	124
<b>Figura 70.-</b> Vista en elevación de la edificación.....	125
<b>Figura 71.-</b> Período de vibración fundamental .....	126
<b>Figura 72.-</b> Determinación de $S_a(T_a)$ .....	129
<b>Figura 73.-</b> Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista...	130
<b>Figura 74.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido X .....	131
<b>Figura 75.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido Y .....	132
<b>Figura 76.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X .....	134
<b>Figura 77.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y .....	135
<b>Figura 78.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	136
<b>Figura 79.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	137

<b>Figura 80.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X .....	138
<b>Figura 81.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y .....	138
<b>Figura 82.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	140
<b>Figura 83.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	140
<b>Figura 84.-</b> Acero Longitudinal NEC 2015 .....	142
<b>Figura 85.-</b> Acero Longitudinal Determinista.....	143
<b>Figura 86.-</b> Acero de Corte NEC 2015 .....	144
<b>Figura 87.-</b> Acero de Corte Determinista.....	145
<b>Figura 88.-</b> Porcentaje de Acero NEC 2015 .....	146
<b>Figura 89.-</b> Porcentaje de Acero Determinista.....	147
<b>Figura 90.-</b> Demanda - Capacidad NEC 2015 .....	148
<b>Figura 91.-</b> Demanda - Capacidad Determinista.....	149
<b>Figura 92.-</b> Plano arquitectónico .....	152
<b>Figura 93.-</b> Modelado estructural de la edificación .....	153
<b>Figura 94.-</b> Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,90m .....	153
<b>Figura 95.-</b> Vista en elevación de la edificación.....	154
<b>Figura 96.-</b> Período de vibración fundamental .....	155
<b>Figura 97.-</b> Determinación de Sa(Ta) .....	157
<b>Figura 98.-</b> Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista... 158	
<b>Figura 99.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido X .....	159
<b>Figura 100.-</b> Cortante Basal Dinámico Sentido Y .....	160
<b>Figura 101.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X .....	162
<b>Figura 102.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y .....	162
<b>Figura 103.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	163
<b>Figura 104.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	164
<b>Figura 105.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X .....	165
<b>Figura 106.-</b> Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y .....	165
<b>Figura 82.-</b> Derivas Inelásticas Sentido X .....	166
<b>Figura 83.-</b> Derivas Inelásticas Sentido Y .....	167
<b>Figura 109.-</b> Acero Longitudinal NEC 2015 .....	168
<b>Figura 110.-</b> Acero Longitudinal Determinista.....	169
<b>Figura 111.-</b> Porcentaje de Acero NEC 2015 .....	170
<b>Figura 112.-</b> Porcentaje de Acero Determinista.....	171
<b>Figura 113.-</b> Demanda - Capacidad NEC 2015 .....	172
<b>Figura 114.-</b> Demanda - Capacidad Determinista.....	173

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**TEMA:** “ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUDADELA EL DORADO DE LA PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**AUTOR:** Sarango Álvarez Damián Alexander

**TUTOR:** Ing. Mg. Galo Núñez

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente trabajo de investigación se generaron espectros de aceleración mediante la utilización de las Ecuaciones de Predicción de Movimiento GMPE's para Régimen Cortical y Subducción, que es el régimen tectónico del área de estudio, basados en las características sísmicas más representativas como son: Velocidad de Onda Cortante  $V_s$ , Tipo de Falla, Magnitud de Momento Sísmico  $M_w$ , Profundidad Focal y la Distancia más cercana a la proyección en la superficie de la falla  $R_{jb}$ . Con esto se obtuvo un espectro específico del área en el cual se presentan las aceleraciones máximas calculadas en los diferentes períodos, el mismo que al ser comparado con el espectro proporcionado por la NEC-2015 nos da como resultado dos intervalos críticos en el cual las aceleraciones superan a las aceleraciones propuestos por la normativa.

Las demandas del espectro específico fueron comparadas con las demandas de la normativa, mediante el modelado de estructuras con las principales características de las edificaciones del sector, logrando destacar un subdimensionamiento de elementos estructurales del sector al estimar la carga sísmica con la norma.

## **ABSTRACT**

In this research work, acceleration spectra were generated by using the GMPE's Movement Prediction Equations for Cortical Regime and Subduction, which is the tectonic regime of the study area, based on the most representative seismic characteristics such as: Cutting Wave Velocity  $V_s$ , Type of Fault, Seismic Moment Moment Magnitude  $M_w$ , Focal Depth and the closest distance to the projection on the surface of the Rjb fault. With this we obtained a specific spectrum of the area in which the maximum accelerations calculated in the different periods are presented, the same one that when compared with the spectrum provided by the NEC-2015 results in two critical intervals in which the accelerations exceed the accelerations proposed by the regulations.

The demands of the specific spectrum were compared with the demands of the regulations, by modeling structures with the main characteristics of buildings in the sector, highlighting a sub-dimensioning of structural elements of the sector when estimating the seismic load with the standard.

## **CAPÍTULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL SECTOR DE LA CIUDADELA EL DORADO DE LA PARROQUIA HUACHI CHICO, DE LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

#### **1.2.ANTECEDENTES**

Según Hernández, Schimitz, Audernard y Malavé consideran “Se debe analizar los principales factores responsables para la respuesta sísmica como: los procesos desarrollados en la fuente sísmica, atenuación de ondas entre la epicentro y el sitio de estudio y los efectos de amplificación”. “Los mapas de velocidades sísmicas de los primeros 30 m ( $V_{s30}$ ) se basan en los valores de números de golpes SPT obtenidos de perforaciones geotécnicas existentes, las cuales se convierten en velocidades de ondas de corte mediante fórmulas de conversión existentes.” [1]

Según Morales, Bernal, Tavera, Arredondo y Oyola en su documento científico considera “Es indispensable una delimitación de micro zonas sísmicas, pues se aprecia una variación en las aceleraciones espectrales teóricas del terreno y en la vibración del terreno durante un evento telúrico.” [2]

Según Alvarado y Valdebenito consideran “Los estudios de microzonificación sísmica son de vital importancia para establecer zonas donde los suelos presenten similar respuesta dinámica.” [3]

Según Aguiar considera “En ciudades con microzonificación sísmica, es mejor utilizar los espectros hallados en los estudios, pues estos fueron encontrados a partir de estudios de suelos, de los cuales se obtiene de mejor forma los factores de sitio.” [4]

Según Marín, Salcedo y Castillo para la estimación del riesgo sísmico a menudo es necesario establecer el tamaño de los sismos más grandes que pueden ser generados por una fuente sísmica. Así, el potencial de una falla es evaluado a partir de sus parámetros de ruptura como la longitud y el desplazamiento, que a su vez son relacionados con la magnitud del sismo. [5]

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (peligro sísmico) nos da a conocer que “Ecuador consta de 6 zonas sísmicas, las mismas donde su amenaza sísmica varía de intermedia hasta muy alta en zonas del litoral ecuatoriano; Ambato está ubicado en la quinta zona con un valor de Z (aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño) de 0,40, lo cual se puede apreciar en el mapa de zonificación sísmica para diseño que proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años.” [6]

Según Schimidt considera que las GMPEs son de suma importancia para el análisis de peligro sísmico para macro y micro zonificación, pues las mismas influyen en gran medida en los resultados obtenidos para estudios de amenaza sísmica. [7]

El presente estudio pretende evaluar la amenaza sísmica de una determinada área de estudio, para poder determinar los espectros de diseño propios del sector.

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

Existe una gran variedad de componentes que pueden generar sismos: la actividad volcánica, las explosiones, el colapso de los techos de cavernas; sin embargo los sismos con mayor relevancia para la ingeniería son aquellos que tienen un origen tectónico, es decir aquellos que son causados por deslizamientos o movimientos de placas a lo largo de fallas geológicas. [8]

Ecuador, al encontrarse ubicado en el famoso “Cinturón de Fuego del Pacífico” es altamente propenso a la presencia de sismos de gran magnitud, pues está ubicado sobre una falla geológica formada por la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. [9]

Según el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional la ciudad de Ambato es considerada como una de las ciudades con más alto riesgo sísmico en el país por su ubicación geográfica, estratigrafía y geología. [10]

Ambato ha sido testigo de diversos movimientos telúricos productos de dos sistemas de fallas cercanas; la denominada Pallatanga que se encuentra ubicada al norte de Baños y la otra en la Cordillera Occidental que han dejado huella a lo largo de la historia como son los siguientes casos: en 1.687 se dio uno de ocho grados; en 1.698 de nueve; en 1.797 de 10 grados y luego el terremoto de 1.949 que se acercó a los siete. [11]

Es por ello que los ingenieros conservan el conocimiento de que la configuración de una edificación (configuración en planta y elevación, secciones de elementos) es de gran influencia en el comportamiento del edificio ante la presencia de un sismo, no obstante, la falta de control durante la construcción ha provocado la existencia de edificaciones sin recomendaciones técnicas en zonas con alto peligro sísmico. [12]

Para ciudades con poblaciones superiores a los 100 000 habitantes los estudio de microzonificación sísmica y geotécnica local juegan un papel importante para poder para poder analizar el entorno geológico y tectónico del territorio, la sismología regional y la distribución de los diferentes tipos de estratos de suelo en la localidad, dando como resultado mapas de zonificación de suelos además de espectros de diseño sísmico locales, los mismos que se imponen sobre los espectros de diseño de la norma, pero considerando los espectros de la norma como mínimos. [6] [13]

Los estudios de microzonificación son de vital importancia a la hora de poder cuantificar el peligro sísmico a nivel local, pues mediante una microzonificación sísmica se puede dividir el territorio en áreas con características dinámicas similares y posteriormente generar directrices constructivas para la correcta edificación antisísmica, particularizando cada obra según el tipo de suelo en que será fundada. [3]

Por dicha razón es indispensable el estudio completo del tipo de suelo sobre el cual se encuentran asentadas las edificaciones del sector de la Ciudadela El Dorado, pues es imprescindible contar con una base de datos sobre las características estructurales de las viviendas, así como las del suelo para poder determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas y por ende poder construir las más seguras y estables para los

moradores de la zona, pues precisamente esa es la función del ingeniero, que teniendo presente las limitaciones económicas, los sismos no sean sinónimos de destrucción .

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar el estudio de Peligro Sísmico Determinista para las estructuras del sector la Ciudadela El Dorado de la parroquia Huachi Chico, en ciudad de Ambato, Provincia Tungurahua.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades del suelo en los puntos de estudio.
- Determinar un espectro de diseño propio para la zona de estudio.
- Comparar el espectro de diseño obtenido del análisis de peligro sísmico determinístico con lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

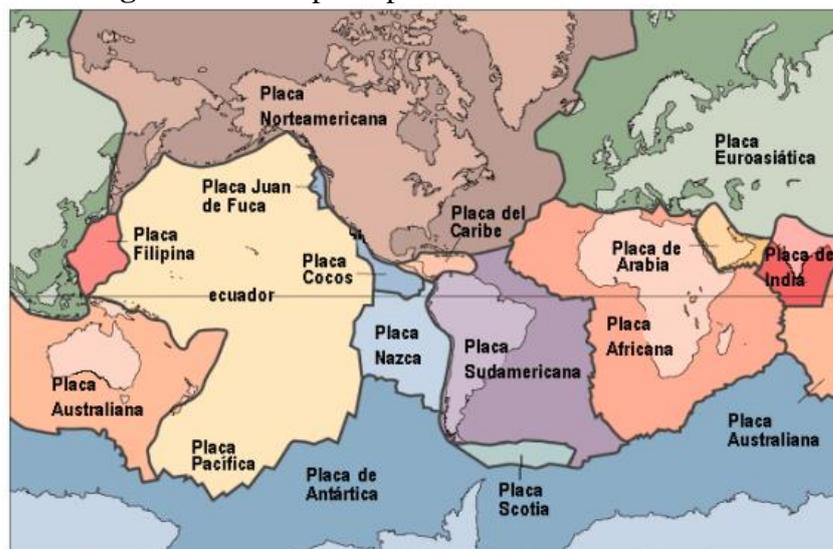
#### 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1. Tectónica de Placas

La tectónica de placas afirma que una de las principales causas de los terremotos son los movimientos de la corteza terrestre, pues esta se encuentra fragmentada en varios segmentos llamados placas tectónicas, con la finalidad de liberar energía de deformación que se acumula por el movimiento relativo de las mismas, formando entre cada una ellas fallas geológicas. [14]

Cabe recalcar que la posibilidad de ocurrencia de sismos futuros no se debe a la presencia de una falla geológica, pues existe dos tipos de fallas: Falla Activa la cual es una falla que presenta una amenaza sísmica alta y la Falla Inactiva es una falla en la cual su actividad sísmica pasada posee una baja probabilidad de volver a ocurrir. La actividad de las fallas es relativa pues no se vuelven activas súbitamente, si no que pueden cambiar con el movimiento de falla activa a inactiva [14]

**Figura 1.-** Principales placas tectónicas de la Tierra

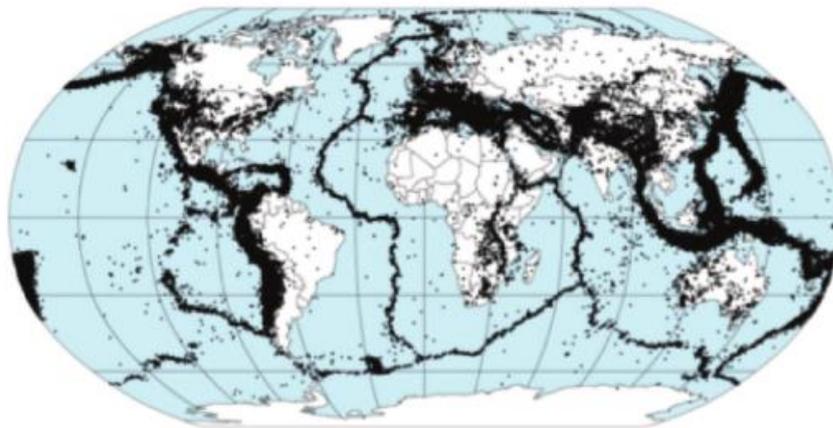


**Fuente:** USGS 1999

La tectónica de placas explica la sismicidad a escala global, pudiendo distinguir zonas sísmicas activas, las cuales coinciden con los límites de las placas; y zonas sísmicas estables localizadas en el interior de las placas. [15]

La interacción de las placas tectónicas que se desplazan sobre las capas superficiales del planeta da como resultado sismos, en la figuras 1,2 se puede apreciar las principales placas tectónicas y la sismicidad asociada a la interacción de las mismas. [13]

**Figura 2.-** Epicentros de sismos a nivel mundial



**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

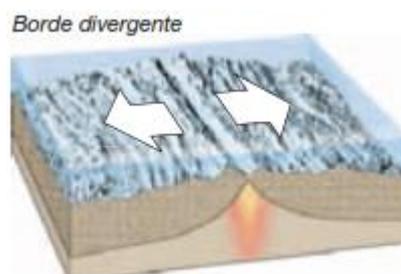
### **Bordes de Placa**

Las principales interacciones entre las placas se producen en los bordes, los mismos que se diferencian por el tipo de movimiento que manifiestan. [16]

- **Bordes divergentes**

Dos placas se separan, dejando paso al ascenso del magma creando un nuevo suelo oceánico. (Bordes constructivos) [16]

**Figura 3.-** Borde divergente

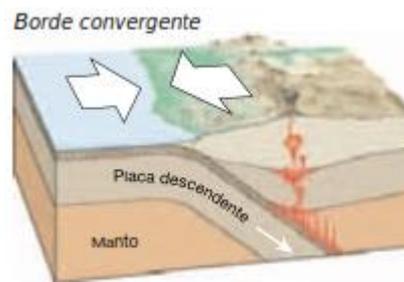


**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

- **Bordes convergentes**

Dos placas chocan provocando que una de ellas descienda debajo de una placa superpuesta conocida como zona de subducción o bien entre dos placas continentales produciendo una zona de colisión, mediante la cual se crean los sistemas montañosos. (Bordes destructivos) [16]

**Figura 4.-** Borde convergente

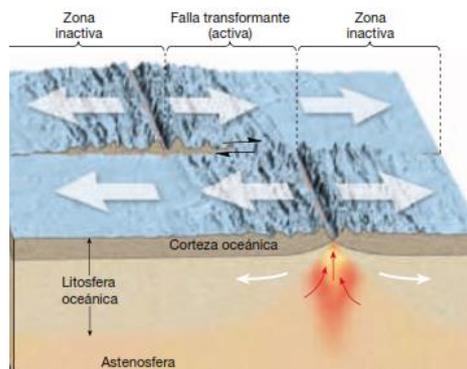


**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

- **Bordes de falla transformante**

Dos placas se desplazan una al lado de otra, sin destrucción o producción de la litosfera. (Bordes pasivos) [16]

**Figura 5.-** Borde de falla transformante



**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

## Terremoto

Es la liberación súbita de energía la misma que provoca la vibración de la tierra; la energía liberada se desplaza en todas las direcciones desde el hipocentro en forma de ondas. La cantidad de energía liberada por un terremoto es representada por la magnitud. [16]

Las ocasionales liberaciones de energía, se deben al desplazamiento relativo de las placas, según el análisis de registro sismográfico el foco o hipocentro es el lugar en donde se dio la ruptura que provocó la liberación súbita de energía; la proyección del foco hacia la superficie se denomina epicentro. [13]

Los daños producidos por los terremotos son de mayor intensidad en las zonas cercanas al hipocentro mientras que a mayor distancia las ondas sísmicas desaparecen progresivamente hasta solo ser detectado por instrumentos especiales llamados sismógrafos. [17]

**Figura 6.-** Hipocentro y Epicentro



**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

## Fallas

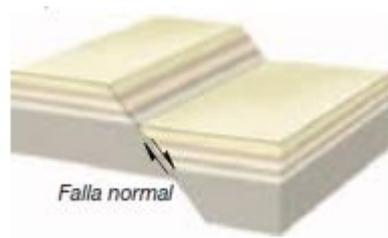
Son fracturas en las cuales se ha tenido un desplazamiento notable en la corteza terrestre, la mayoría de los terremotos son producto de los movimientos bruscos a lo largo de las fallas; las mismas que se han clasificado de acuerdo a sus movimientos predominantes siendo estos verticales y horizontales. [16]

## Fallas con desplazamiento vertical

- **Falla Normal**

El bloque superior se desplaza hacia abajo en relación a la superficie de roca inferior, en esta actúan fuerzas tensionales; además cuenta con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  aproximadamente. [16]

**Figura 7.-** Falla Normal



**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

- **Falla Inversa**

El bloque superior se desplaza hacia arriba en relación a la superficie de roca inferior pues están actuando fuerzas compresivas, las mismas que cuentan con un ángulo de inclinación mayores a  $45^\circ$ ; cuando presenta inclinaciones pequeñas son denominadas cabalgamientos. [16]

**Figura 8.-** Falla inversa



**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

## Fallas con desplazamiento horizontal

Denominada falla transformante, estas fallas se presentan cuando el desplazamiento es paralelo a la superficie falla. [16]

**Figura 9.-** Falla transformante



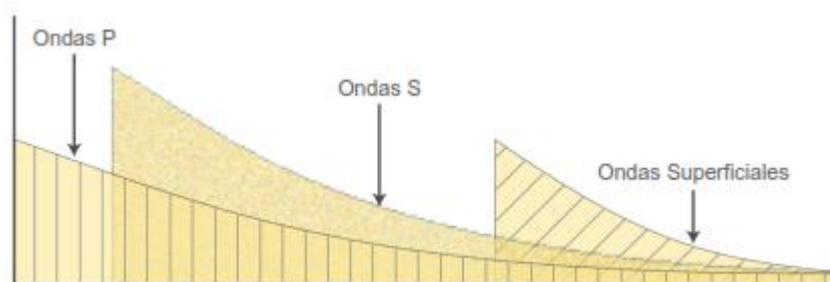
**Fuente:** Tarbuck, E. Lutgens, F. Ciencias de la Tierra

## Ondas Sísmicas

Son ondas que se propagan desde el foco, al momento de la liberación de energía. Existen dos tipos principales: las ondas de cuerpo que son las más rápidas, viajan por el interior de la tierra y las ondas superficiales que son más lentas y se desplazan únicamente por la superficie terrestre, por sus características son las más destructivas. [17]

En distancias cercanas al epicentro, se pueden apreciar la llegada de las ondas a los sismógrafos

**Figura 10.-** Llegadas de los tipos de ondas

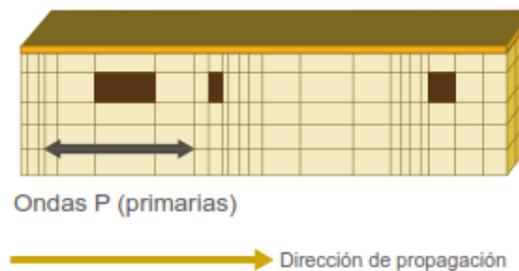


**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

## Ondas de Cuerpo

- **Ondas Primarias (P).**- Ondas de presión, producen compresión y dilatación del suelo en el plano de propagación de la onda; son las primeras en llegar a las estaciones de registro, pues son las de mayor velocidad además de poder atravesar sólidos y líquidos. [13] [17]

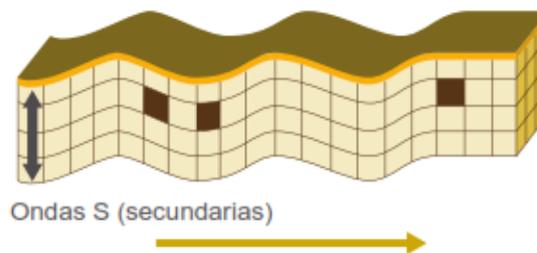
**Figura 11.- Ondas P**



**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

- **Ondas Secundarias (S).**- Ondas de corte, provocan un desplazamiento ortogonal del suelo con respecto a la dirección de propagación; tienen menor velocidad que las ondas P, además de poder atravesar únicamente sólidos. [13] [17]

**Figura 12.- Ondas Secundarias**

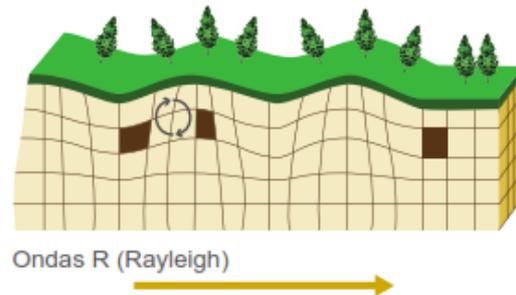


**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

### Ondas Superficiales:

- **Ondas Rayleigh.-** Ondas cuyo movimiento es elíptico, de manera vertical en el plano de propagación. [17]

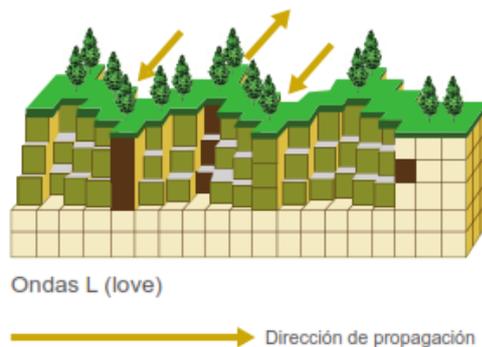
**Figura 13.-** Ondas Rayleigh



**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

- **Ondas Love.-** Ondas de corte, provocan un desplazamiento horizontal perpendicular al plano de propagación, de amplitud decreciente con la profundidad, son brevemente más rápidas que las ondas Rayleigh [17]

**Figura 14.-** Ondas Love



**Fuente:** Grases, J. La amenaza Sísmica, Estrategias Preventivas

### **2.1.2. Peligro Sísmico y Riesgo Sísmico**

El peligro sísmico es considerado como las probabilidades de presentarse sismos asociados con la frecuencia de los mismos; y el riesgo sísmico consiste en combinar el peligro sísmico con los factores de vulnerabilidad. (Tipo y edad de las infraestructuras, densidad de población, uso del suelo, etc.) [18]

Es por ello que los sismos altos y frecuentes, que se presentan en zonas remotas son un peligro sísmico elevado, pero representan un riesgo bajo; por otro lado los sismos moderados y poco frecuentes en zonas pobladas conlleva a un peligro bajo pero un riesgo alto. [18]

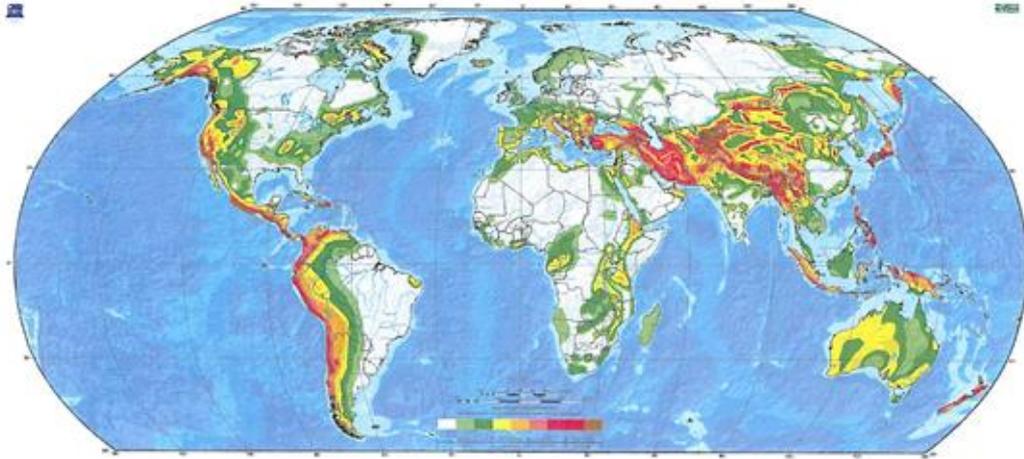
De los peligros sísmicos producidos por los terremotos el más representante es el movimiento del terreno; y los peligros secundarios son: Riesgos estructurales, Licuefacción, Derrumbes, Inundaciones, Riesgos Vitales, Tsunamis. [19]

Se tiene recuerdos devastadores y extensos de un sinnúmero de terremotos desde tiempos pasados; sin embargo el estudio de los mismos ha empezado a realizarse recientemente. [17]

### **Zonas Sísmicas a Nivel Mundial**

A nivel mundial la mayor cantidad de terremotos se presentan en las siguientes tres zonas: zona circunpacífica, una zona mediterránea y transasiática; y una última de dorsales mesocénicas. [17] [18]

**Figura 15.-** Mapa global de amenaza sísmica



**Fuente:** Giardini, D. Grunthal, G. Shedlock, K. Zhang, P. Global Seismic Hazard Maps

### **Análisis de Peligrosidad Sísmica**

El principal objetivo de un análisis de peligro sísmico es determinar cuál será el máximo terremoto capaz afectar a una edificación durante su ciclo de vida, o cual será el máximo terremoto en un lugar durante tiempo determinado. [15]

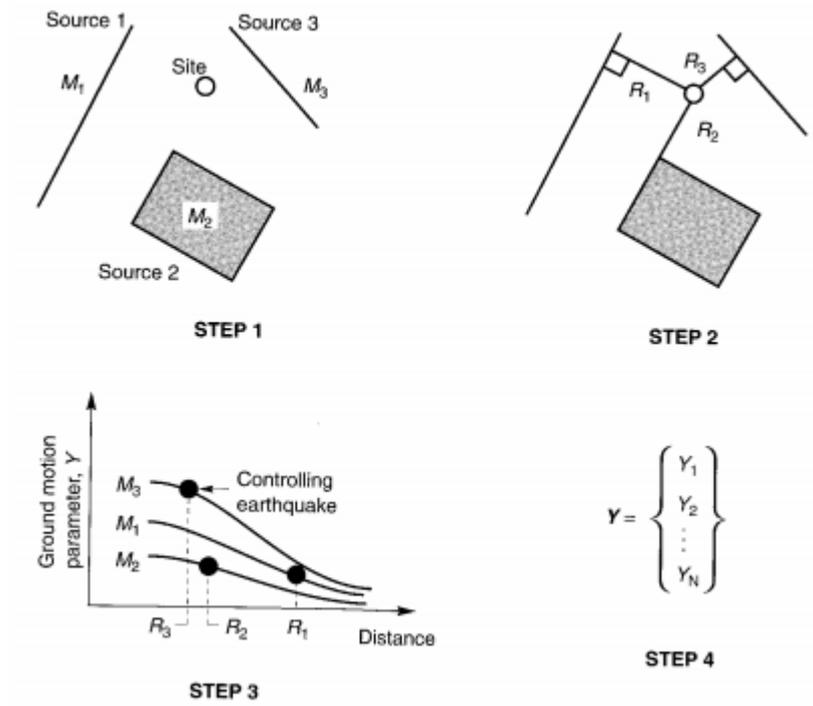
- **Análisis del Peligro sísmico Determinista**

El método supone que la sismicidad futura de la región será igual a la pasada, siendo el terremoto previsible el máximo terremoto que ha ocurrido; consiste en asumir un escenario particular en el cual ocurra un sismo de tamaño especificado sobre el cual poder basar la evaluación de peligro del movimiento en una ubicación determinada, el cual puede ser descrito con los siguientes pasos: [14] [15]

- a) Identificación de fuentes sismogénicas capaces de producir movimientos sísmicos significativos en el área de estudio.
- b) Distancia entre la fuente sísmica al sitio de interés, se toma la menor distancia entre ellos, la misma que puede ser distancia epicentral o hipocentral, dependiendo de los valores usados en las relaciones de predicción.
- c) Selección del sismo dominante, usualmente expresado por la magnitud.

- d) Determinación del peligro en el área de estudio por el sismo dominante, en la cual sus características son obtenidas con relaciones de predicción de movimiento del suelo, basadas en ecuaciones de atenuación de ondas. [14]

**Figura 16.-** Pasos de un análisis de peligro sísmico determinista



**Fuente:** Kramer, S. Geotechnical Earthquake Engineering

- **Análisis del peligro sísmico Probabilístico**

A partir de la sismicidad registrada en el sector, se obtienen leyes de recurrencia las cuales sirven para obtener curvas de probabilidad para distintos niveles de movimiento; permiten identificar, cuantificar y combinar de manera racional el tamaño, la ubicación y tasa de ocurrencia de los sismos, proporcionando una evaluación más completa de la amenaza sísmica. [14] [15]

## Sismicidad en el Ecuador

El origen de los eventos sísmicos de nuestro país tiene dos fuentes principales: El fallamiento cortical que afecta a la Placa Sudamericana conocidos como sismos corticales (superficiales, con profundidad < 40km); y a procesos de subducción de la Placa Oceánica de Nazca bajo la Placa Sudamericana conocidos como sismos de subducción (intraplaca e interplaca); en cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes. [20] [21]

Los sismos interplaca (profundidad < 40km) son los sismos que se producen por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de la zona de convergencia, los sismos intraplaca (profundidad entre 40 y 300km) a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, ubicados en la placa de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana. [20]

La cantidad de sismos corticales es mayor a los sismos de subducción, sin embargo es menor en cuanto a la liberación de energía, pues la mayoría de sismos que superan la magnitud 5.0Mb son de fuentes de subducción. [21]

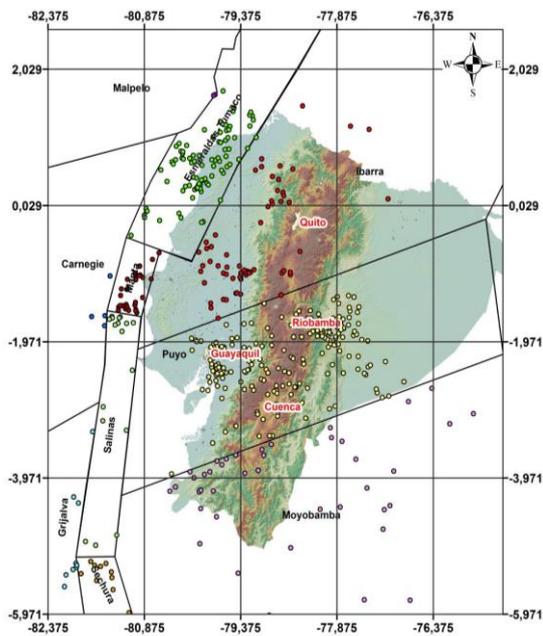
**Tabla 1.-** Estadísticas para el año 2013 del número de sismos por tipo de fuente

Zona	No. Total de eventos		No. Eventos entre 4 y 5		No. Eventos iguales o mayores a 5	
	No.	%	No.	%	No.	%
<b>Sismos Corticales</b>	1935	79,96%	93	3,84 %	7	0,29%
<b>Sismos de Subducción</b>	485	20,04%	86	3,55 %	13	0,54%

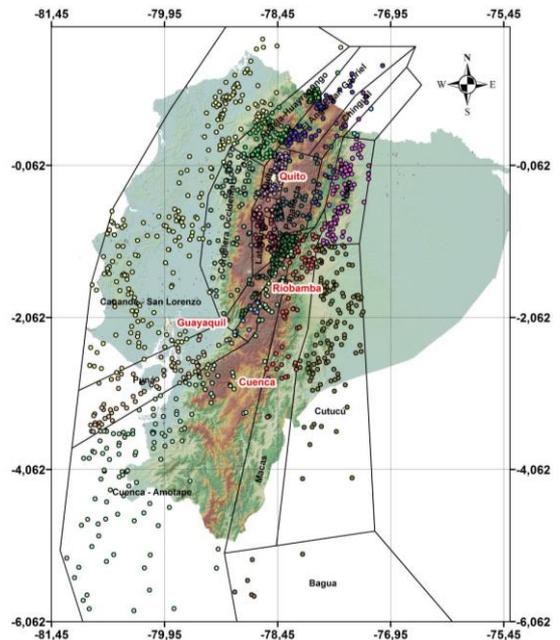
**Fuente:** Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional

Los eventos sísmicos del Ecuador son registrados y localizados por la red de sismógrafos (RENSIG) y la red de acelerógrafos (RENAC) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. [21]

**Figura 17.-** Distribución de los sismos registrados en el 2013 de las Fuentes de Subducción



**Figura 18.-** Distribución de los sismos registrados en el 2013 de las Fuentes Corticales



**Fuente:** Córdova, A. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional

Entre los sismos de mayor intensidad medidos en MSK (Medvedev, Sponheuer, Karnik) que han ocurrido en Ecuador podemos destacar los siguientes:

**Tabla 2.- Terremotos del Ecuador con intensidades  $\geq$  VIII**

No.	FECHA			EPICENTRO		INT MAX	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN
	Año/mes/día	Lat.	Lon.				
1	1541	04	sd	0,10	-77,80	VIII	Napo
2	1587	08	31	0,00	78,40	VIII	Pichincha
3	1645	03	15	1,68	-78,55	IX	Chimborazo, Tungurahua
4	1674	08	29	1,70	-79,00	IX	Chimborazo, Bolívar
5	1687	11	22	-1,10	-78,25	VIII	Tungurahua
6	1698	06	20	1,45	78,30	X	Tungurahua, Chimborazo
7	1736	12	06	0,78	78,80	VIII	Pichincha, Cotopaxi
8	1749	01	20	4,00	79,20	VIII	Loja
9	1755	04	28	0,21	78,48	VIII	Pichincha
10	1757	02	22	0,93	78,61	IX	Cotopaxi, Tungurahua
11	1786	05	10	1,70	78,80	VIII	Chimborazo
12	1797	02	04	-1,43	-78,55	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar
13	1834	01	20	1,30	-76,90	XI	Carchi, Nariño* (Colombia)
14	1859	03	22	0,40	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
15	1868	08	15	0,60	78,00	VIII	Carchi
16	1868	08	16	0,31	78,18	IX	Imbabura, Carchi, Pichincha
17	1896	05	03	0,51	80,45	IX	Manabí
18	1906	01	31	1,00	81,30	IX	Esmeraldas. Nariño (Colombia)
19	1911	09	23	1,70	-78,90	VIII	Chimborazo, Bolívar
20	1913	02	23	4,00	79,40	VIII	Loja, Azuay
21	1914	05	31	0,50	78,48	VIII	Pichincha, Cotopaxi
22	1923	02	05	0,50	78,50	VIII	Pichincha
23	1923	12	16	0,90	77,80	VIII	Carchi, Nariño (Colombia)
24	1926	12	18	0,80	77,90	VIII	Carchi
25	1929	07	25	0,40	78,55	VIII	Pichincha
26	1938	08	10	0,30	78,40	VIII	Pichincha
27	1942	05	14	0,01	-80,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
28	1949	08	05	1,25	78,37	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
29	1953	12	12	3,40	80,60	VIII	Loja, norte del Perú
30	1955	07	20	0,20	78,40	VIII	Pichincha, Imbabura
31	1958	01	19	1,22	79,37	VIII	Esmeraldas
32	1961	04	08	2,20	-78,90	VIII	Chimborazo
33	1964	05	19	0,84	80,29	VIII	Manabí
34	1970	12	10	-3,79	80,66	IX	Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú
35	1987	03	06	0,87	-77,14	IX	Napo, Sucumbíos, Imbabura
36	1995	10	02	-2,79	-77,97	VIII	Morona Santiago
37	1998	08	04	-0,55	-80,53	VIII	Provincia de Manabí

\* Intensidad máxima en Nariño, Colombia: XI      Latitud = Lat.; + = Norte, - = Sur.  
 Longitud = Lon: - = Oeste      INT = Intensidad máxima      sd = sin fecha exacta

**Fuente:** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

Teniendo en cuenta las fechas de los eventos se puede deducir que el Ecuador ha tenido terremotos destructivos aproximadamente cada 12 años; pero este intervalo ha sido muy cambiante, variando desde un intervalo de 1 día hasta un intervalo de 68 años; las

intensidades de VII ocasionan graves daños en estructuras de adobe las mismas que se encuentran en zonas rurales de la serranía ecuatoriana; cabe señalar que la intensidad se mide por el daño a las construcciones, pues los eventos históricos no han sido registrados con instrumentos especiales. [22]

Analizando las zonas de mayor afectación de los terremotos se puede decir que los terremotos pueden ocurrir en cualquier lugar u hora, debido a que existen numerosas fuentes de sismos; al hacer un análisis por regiones se puede apreciar la gran cantidad de eventos que ocurrieron en la Región Interandina, sin embargo estos eventos tuvieron no registran la mayor cantidad de energía sísmica liberada; la mayor cantidad de energía liberada ocurrió en el sismo que se dio en Esmeraldas con una magnitud de 8,8 Mw ubicándolo como el sexto más grandes a escala mundial. [22]

Cabe destacar el reciente sismo de Pedernales de 7,8 Mw que ocurrió el 16 de Abril del 2016, que fue resultado del desplazamiento de las placas de Nazca que se sumerge bajo la Sudamericana, produciendo un fenómeno de subducción; este mismo fenómeno fue el que se dio en el sismo de 8,8 Mw de Esmeraldas. [23]

**Tabla 3.-** Intensidad histórica máxima en cada Provincia

PROVINCIA	INT. MÁX.
CHIMBORAZO	XI
COTOPAXI	X
TUNGURAHUA	X
IMBABURA	X
ESMERALDAS	IX
LOJA	VIII
MANABÍ	IX
NAPO Y SUCUMBÍOS	IX
PICHINCHA	VIII
BOLÍVAR	VIII
CARCHI	VIII
EL ORO	VIII
AZUAY	VIII
GUAYAS	VIII
LOS RÍOS	VIII
MORONA SANTIAGO	VIII
PASTAZA Y FRANCISCO DE ORELLANA	VII
ZAMORA CHINCHIPE	VII
CAÑAR	VII
GALÁPAGOS	IV

**Fuente:** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

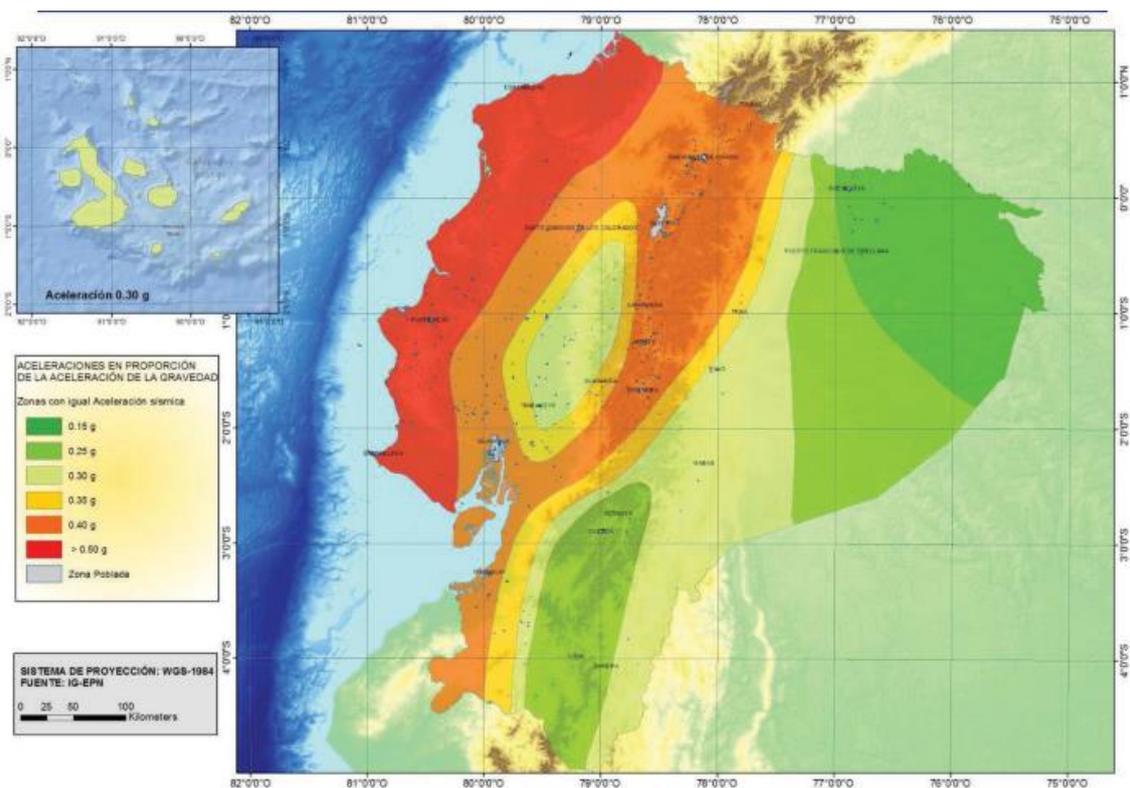
En la región Sierra se puede destacar el sismo de intensidad XI ocurrido en Riobamba en febrero de 1797, cuyo probable origen fue la ruptura de la falla de Pallatanga; otro evento que afectó a las provincias de Tungurahua y Chimborazo fue 1698 con intensidad X, ya para épocas más actuales tenemos el terremoto de 1949 que arrasó con Ambato-Pelileo con intensidad X, cuyos efectos se extendieron a las provincias cercanas; catalogándolo como uno de los más desastrosos del Ecuador; por esta razón Ambato al ser uno de los lugares más propensos a sufrir eventos telúricos necesita de monitoreo tectónico. [22]

## Zonificación sísmica del Ecuador

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [6]

Todo el territorio ecuatoriano está catalogado con una amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que posee amenaza sísmica intermedia y el litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta. [6]

**Figura 19.-** Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador



**Fuente:** NEC 2015 - Peligro Sísmico

El mapa de zonificación sísmica para propósitos de diseño proviene de estudios de peligro sísmico del Ecuador actualizados al 2011, además de criterios de uniformidad del peligro en ciertas zonas del país teniendo presente los mapas de peligro sísmico de países vecinos. [6]

El mapa considera que la principal causa de la generación de energía sísmica en el Ecuador se debe a la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. Además de la presencia del complejo sistema de fallas local superficial que produce sismos en gran parte del país. El estudio fue realizado en todo el territorio ecuatoriano de manera integral, considerando metodologías actuales usadas a nivel mundial y disponibilidad de información a nivel local, incluyendo: [6]

- Evaluación de eventos históricos relevantes, junto con un estudio moderno de re-evaluación de la magnitud y localización de los eventos.
- Estudio de las principales fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción) y sus mecanismos focales, que junto con la sismicidad y neotectónica, permitió modelar la geometría de las fuentes sismogénicas y sus parámetros sismológicos.
- Modelación de la geometría de las fuentes sismogénicas a partir de ediciones GPS de precisión y de modelos de acoplamiento de segmentos de subducción.
- Análisis de la homogeneidad y completitud de catálogos sísmicos históricos para el Ecuador, construcción de un catálogo sísmico instrumental unificado.
- Modelación de 8 923 eventos sin tomar en cuenta las réplicas, eventos premonitores, sismos volcánicos y enjambres independientes de magnitud mínima de homogeneidad de 4,5 y máxima 8,8 utilizados para el análisis.
- Utilización de las ecuaciones de predicción, validadas por el Global Earthquake Model, para las fuentes intraplaca (Boore y Atkinson, 2008; Akkar y Boomer, 2010; Kanno et al., 2006; Bindi et. al., 2009) y para fuentes de subducción (Youngs et al., 1997; Atkinson y Boore, 2003; Kanno et al., 2006; McVerry et al., 2006; Lin y Lee, 2008, Zhao et. al., 2006).
- Estudio sobre las incertidumbres en los parámetros utilizados, particularmente las ecuaciones de predicción. [6]

## **Ecuaciones de predicción de movimiento. (GMPEs)**

Las Ecuaciones de predicción de Movimiento de Suelo o GMPEs por sus siglas en inglés (Ground Motion Prediction Equations) tienen como finalidad seleccionar y proponer ecuaciones para una región tectónica específica para la evaluación de riesgos sísmicos; estas son utilizadas para estimar la aceleración máxima del terreno (PGA) y/o desplazamientos a los que pueden estar expuesto las estructuras, así como otras medidas de intensidad, basándose en registros anteriores de la actividad sísmica. [7] [24]

Los modelos propuestos las aceleraciones y/o velocidades espectrales se formulan en función de la magnitud y distancia, para el rango de frecuencias de interés en ingeniería sísmica. Además interviene el tipo de suelo en la ubicación, que se incluye a través de un factor que lo identifica. Una clara diferencia entre los modelos es la zona fuente de los datos, que condiciona su aplicación a zonas de características similares. Además hay variaciones en las escalas de magnitud y distancia introducidas, así como en los rangos de validez del modelo atendiendo a estos parámetros. Por estas razones para realizar una aplicación correcta, es importante analizar previamente las características principales de cada modelo y extraer la información necesaria para el posterior cálculo de espectros. [25]

## **Sismos Intraplaca (Fallamiento cortical)**

- **Boore y Atkinson (2008)**

Las ecuaciones de predicción del movimiento de tierra en función de la magnitud del terremoto, distancia a la fuente, velocidad de onda cortante y tipo de falla; las ecuaciones se derivaron de la investigación de PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), usando una base de datos de miles de registros, compilados en entornos tectónicos de todo el mundo. Las ecuaciones son una actualización de los GMPE publicada en 1997 por Boore y sus colegas. Un tema importante sobre la fiabilidad de los resultados es la cantidad de datos usados en las regresiones, especialmente en rangos de magnitud y distancia, que son importantes para el análisis de peligro sísmico. [26]

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon$$

Donde:

- $F_M$ .- Escala de magnitud
- $F_D$ .- Función de distancia
- $F_S$ .- Amplificación de sitio
- $M$ .- Magnitud de momento
- $R_{JB}$ .- Distancia de Joyner-Boore (distancia más cercana a la proyección de superficie de la falla) [26]

La función de distancia está dada por:

$$F_D(R_{JB}, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + c_3(R/R_{ref}) \quad (4,1)$$

Donde:

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (4,2)$$

- $c_1, c_2, c_3$  y  $h$  son coeficientes determinados en el análisis.
- $M_{ref} = 4,5$
- $R_{ref} = 1\text{km}$

La escala de magnitud está dado por:

- $M \leq M_h$   

$$F_M(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e5(M - M_h) + e6(M - M_h)^2 \quad (4,3)$$

- $M > M_h$   

$$F_M(M) = e1U + e2SS + e3NS + e4RS + e7(M - M_h) \quad (4,4)$$

Donde U, SS, NS y RS son variables ficticias usadas para especificar el tipo de falla no especificada, normal, inversa; Mh magnitud para la forma de escala de magnitud, es un coeficiente que se debe establecer durante el análisis. [26]

La función de amplificación de sitio está dada por:

$$F_S = F_{LIN} + F_{NL} \quad (4,5)$$

Donde  $F_{LIN}$  y  $F_{NL}$  son términos lineales y no lineales respectivamente. [26]

El término lineal está dado por:

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{s30}/V_{ref}) \quad (4,6)$$

Donde  $b_{lin}$  es un coeficiente dependiente del periodo; y  $V_{ref}$  es la velocidad de referencia especificada (760 m/s), estos coeficientes están basados en el trabajo de Choi y Stewart (2005), los cuales están empíricamente basados. [26]

El término no lineal está dado por:

- $pga_{4nl} \leq a1$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0,1) \quad (4,7)$$

- $a1 < pga_{4nl} \leq a2$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0,1) + c[\ln(pga_{4nl} / a1)]^2 + d[\ln(pga_{4nl} / a1)]^3 \quad (4,8)$$

- $a2 < pga_{4nl}$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl} / 0,1) \quad (4,9)$$

Donde  $a_1 = 0,03g$  y  $a_2 = 0,09g$  se asignan niveles para amplificación lineal y no lineal;  $pga\_low = 0,06g$  es una variable asignada a transición entre comportamientos lineales y no lineales;  $pga_{nl}$  es el PGA previsto en  $g$  para  $V_{ref} = 760$  m/s, dada por la ecuación principal con  $F_s = 0$  y  $\varepsilon = 0$ . Las ecuaciones para términos no lineales son necesarias. (Ecuaciones 4,7 – 4,9). [26]

Los coeficientes “c” y “d” de la ecuación 4,8 está dado por:

$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x)/\Delta x^2 \quad (4,10)$$

$$d = -(2\Delta y - b_{nl}\Delta x)\Delta x^3 \quad (4,11)$$

Donde:

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1) \quad (4,12)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga\_low) \quad (4,13)$$

La pendiente no lineal  $b_{nl}$  es una función de ambos periodos y  $V_{S30}$  está dada por:

- $V_{S30} \leq V_1$

$$b_{nl} = b_1 \quad (4,14)$$

- $V_1 < V_{S30} \leq V_2$

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{S30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (4,15)$$

- $V_2 < V_{S30} \leq V_{ref}$

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{S30}/V_{ref}) / \ln(V_2/V_{ref})$$

(4,16)

- $V_{ref} \leq V_{S30}$

$$b_{nl} = 0,0$$

(4,17)

Donde  $V_1=180$  m/s,  $V_2=300$  m/s;  $b_1$  y  $b_2$  son coeficientes dependientes del periodo y por consiguiente  $b_{nl}$  es una función del periodo así como  $V_{S30}$ . [26]

Las ecuaciones son aplicables para valores de  $180 \leq V_{S30} \leq 1300$  m/s, no debe aplicarse para sitios de roca muy dura  $V_{S30} \geq 1500$  m/s. [26]

### Rango de magnitudes

- Transcurrente:  $4,3 \leq M \leq 7,9$
- Normal:  $5,3 \leq M \leq 6,9$
- Inversa:  $5,6 \leq M \leq 7,6$

**Tabla 4.-** Valores de variables para diferentes tipos de fallas

Tipo de falla	U	SS	NS	RS
Transcurrente	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Inversa	0	0	0	1

**Fuente.-** Modelo Boore y Atkinson 2008

### Limitaciones del modelo.

- $M = 5 - 8$
- $V_{S30} = 180 - 1300$  m/s
- $R_{jb} < 200$  km

- **Akkar y Bommer (2010)**

Akkar y Boomer presentaron un nuevo GMPE, cuya principal motivación fue ampliar el rango de períodos de respuesta cubiertos por las ecuaciones de 2,5 segundos a 3 segundos, en la que los coeficientes deben presentarse sin suavizado y todos los coeficientes deben presentarse con cinco decimales. [27]

$$\begin{aligned} \log y &= b_1 + b_2M + b_3M^2 \\ &+ (b_4 + b_5M) \log \sqrt{Rjb^2 + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R \\ &+ \varepsilon\sigma \end{aligned}$$

En la ecuación  $y$  está en  $\text{cm/s}^2$ .

#### Categorías:

- **Suelos blandos:**  $V_{S30} < 360$  m/s;  $S_S = 1$ ;  $S_A = 0$
- **Suelo rígido:**  $S_S = 0$ ;  $S_A = 1$
- **Roca:**  $V_{S30} > 750$  m/s;  $S_S = 0$ ;  $S_A = 0$

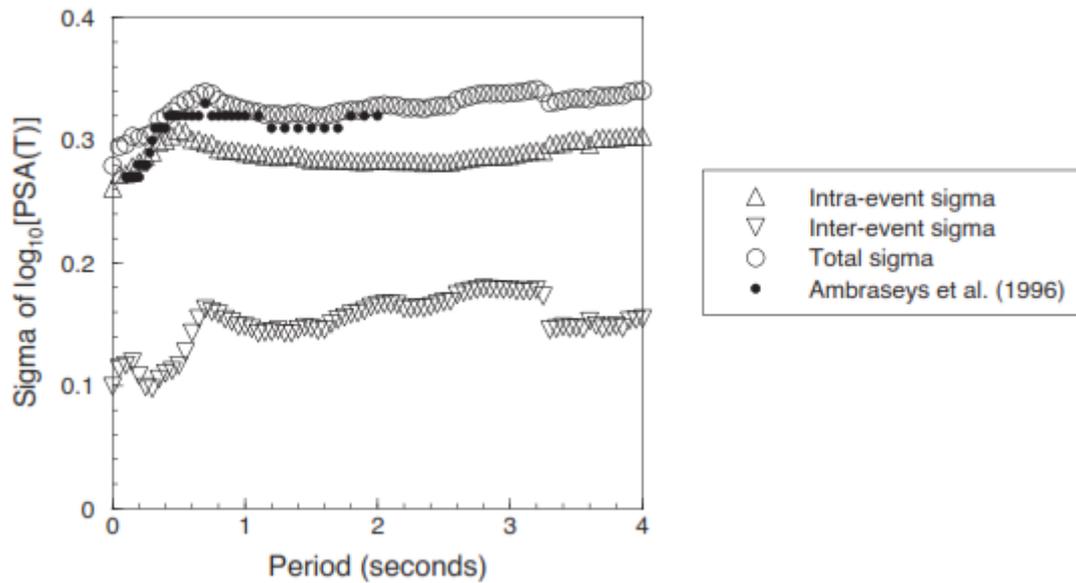
#### Mecanismo de falla:

- **Falla Normal:**  $F_N = 1$ ;  $F_R = 0$
- **Falla Inversa:**  $F_N = 0$ ;  $F_R = 1$
- **Falla Transcurrente:**  $F_N = 0$ ;  $F_R = 0$

$\varepsilon$ - es el número de desviaciones estándar por encima o por debajo del valor medio de “ $\log y$ ”, la misma que se descompone en un inter-evento  $\sigma_2$  y un componente intra-evento  $\sigma_1$ ; la desviación estándar total  $\sigma$ , viene dada por la raíz cuadrada de la suma de sus cuadrados. [27]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

**Figura 20.-** Valores de sigma ( $\sigma$ )



**Fuente.-** Akkar y Bommer 2010

### Limitaciones del modelo

- $M = 5 - 7,6$
- $R_{jb} \leq 100\text{km}$
- Solo se recomiendan hasta un período de 3 segundos
- **Kanno et al. (2006)**

En Japón, en un esfuerzo por evitar desastres sísmicos, instaló estaciones de observación de movimientos fuertes, incluida K-NET, el mismo que es operado por el Instituto Nacional de Investigación para Ciencias de la Tierra y Prevención de Desastres. En el estudio se ha adoptado la magnitud de momento  $M$  y la distancia fuente  $X$  como parámetros para el modelo base; se presentan dos ecuaciones: una para eventos superficiales cuya profundidad focal debe estar entre 0 y 30km; y otra para eventos profundos cuya profundidad focal debe estar entre 30 y 180km. [28]

- $D \leq 30\text{Km}$

$$\log pre = a_1 M_w + b_1 X - \log(X + d_1 * 10^{e_1 M_w}) + c_1 + \epsilon_1$$

- $D > 30Km$

$$\log pre = a_2 M_w + b_2 X - \log(X) + c_2 + \varepsilon_2$$

Donde:

- **pre.**- Aceleración espectral de respuesta amortiguada del 5% (PGA) en  $cm/seg^2$
- **D.**- Profundidad focal en km.
- **a1, b1, c1, d1, a2, b2, c2.**- Coeficientes de regresión
- $e_1 = 0,5$
- $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$ . – Son errores entre los valores observados y predichos

Para este estudio se tomará como falla cortical la primera ecuación; por no tener una profundidad focal menor a 30km. [28]

Para suelos poco profundos se usará distancia de X de:

- 6,0 ( $X \leq 25Km$ )
- 3,0 ( $25 < X \leq 50Km$ )
- 1,5 ( $50 < X \leq 75Km$ )
- 1,0 ( $X > 75Km$ )

### Sismos de subducción

- **Youngs et al. (1997)**

El artículo científico nos da a conocer relaciones de atenuación para zonas de subducción, los cuales pueden ser clasificados como interplaca (profundos) e intraplaca (superficiales). La diferencia entre evento sísmico interplaca e intraplaca fue realizada en base a los mecanismos de falla o a la profundidad focal. Se consideran como eventos interplaca a los eventos sísmicos cuya profundidad es mayor a 50km, los sismos superficiales ocurren a profundidades menores a 50km. [29]

Categorías:

- **Suelos Profundos.-** Profundidad a la roca madre es mayor a 20 metros. [29]
- **Superficies Llanas de Suelo Rígido.-** La profundidad del suelo es menor a 20 metros. [29]

$$\begin{aligned} \ln(y) = & -0,6687 + 1,438M + C1 + C2(10 - M)^3 + C3 \\ & * \ln(R + 1,097e^{0,617M}) + 0,00648H + 0,3643Zt \end{aligned}$$

En la ecuación “y” está en g.

Donde:

Zt = Tipos de origen:

- Zt=0 Interplaca
- Zt=1 Intraplaca

Zds = Condiciones de profundidad del suelo

- Zds = 1 Sitios de suelo profundo
- Zds = 0 Cualquier otro suelo

Zss = Rigidez profunda

- Zss = 1 Sitios de suelo profundo
- Zss = 0 Cualquier otro

Zr = Sitios rocosos

- Zr = 1 Sitio rocoso
- Zr = 0 Cualquier otro

### **Limitaciones del modelo:**

Las ecuaciones deben ser usadas para:

- Magnitudes Mw = 5 o mayores
- Distancias de superficie de rotura de 10 a 500 km

La desviación estándar para magnitudes mayores que Mw = 8 se establece igual valor de 8. [29]

- **Zhao (2006)**

Debido a que las trayectorias de propagación de la onda sísmica desde la fuente del terremoto hasta la superficie del suelo varían de un tipo de terremoto a otro, se espera que los movimientos del suelo generados por diferentes tipos de terremotos sean diferentes incluso si los eventos tienen magnitudes y distancias a la fuente idénticas. [30]

En el estudio se utilizarán cuatro clases de sitio, SC, I, II, III y IV que corresponden aproximadamente a las cuatro clases: roca, suelo duro, suelo medio, y suelo blando. [30]

$$\log_e(y) = aMw + bx - \log_e(r) + e(h - hc)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \log_e(x) + C_K$$

Donde “y” es PGA (cm/s<sup>2</sup>)

$$r = x + c \exp(dMw)$$

El parámetro de falla inversa FR se aplica solo a evento con un mecanismo de falla inversa, y es 0 para los demás eventos. El parámetro de tipo de fuente tectónico SI se aplica a eventos intraplaca y es 0 para los demás eventos. SS se aplica solo a eventos de subducción y es 0 para los demás eventos. SSL es el término de modificación de trayectoria independiente de la magnitud para eventos intraplaca. Ck es el término de clase de sitio. El coeficiente hc es una constante de profundidad. [30]

Profundidades focales

- Evento Cortical: h= 0 – 25 km
- Eventos interplaca: h= 10 – 50 km
- Eventos intraplaca: h= 15 – 162 km [30]

Usamos el valor de 15km para el coeficiente de profundidad hc. [30]

Cuando h es mayor que 125km, se toma h = 125km para usar un factor contante para terremotos profundos; es decir la profundidad está limitada a 125km. [30]

## Magnitud de momento (Mw)

Es una magnitud usada por científicos para conocer el tamaño del sismo en términos de energía liberada y poder compararlo con otros eventos; Wells – Coppermith señala que tanto para análisis de peligro sísmico determinista o probabilista es necesario una evaluación del potencial de los sismos futuros de la región; por dicha razón es indispensable considerar el tamaño de los sismos más grandes que podrían producirse por una falla en particular o una fuente de sismo, es por ello que el potencial futuro de terremoto de una falla se evalúa con estimaciones de parámetros de ruptura de falla, pues estas están relacionados con la magnitud del sismo. [31]

**Tabla 5.-** Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (M)

Table 2A  
Regressions of Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Moment Magnitude (M)

Equation*	Slip Type†	Number of Events	Coefficients and Standard Errors		Standard Deviation <i>s</i>	Correlation Coefficient <i>r</i>	Magnitude Range	Length/Width Range (km)
			<i>a</i> (sa)	<i>b</i> (sb)				
$M = a + b * \log(\text{SRL})$	SS	43	5.16(0.13)	1.12(0.08)	0.28	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	5.00(0.22)	1.22(0.16)	0.28	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	4.86(0.34)	1.32(0.26)	0.34	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	5.08(0.10)	1.16(0.07)	0.28	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$\log(\text{SRL}) = a + b * M$	SS	43	-3.55(0.37)	0.74(0.05)	0.23	0.91	5.6 to 8.1	1.3 to 432
	R	19	-2.86(0.55)	0.63(0.08)	0.20	0.88	5.4 to 7.4	3.3 to 85
	N	15	-2.01(0.65)	0.50(0.10)	0.21	0.81	5.2 to 7.3	2.5 to 41
	All	77	-3.22(0.27)	0.69(0.04)	0.22	0.89	5.2 to 8.1	1.3 to 432
$M = a + b * \log(\text{RLD})$	SS	93	4.33(0.06)	1.49(0.05)	0.24	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	4.49(0.11)	1.49(0.09)	0.26	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	4.34(0.23)	1.54(0.18)	0.31	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	4.38(0.06)	1.49(0.04)	0.26	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log(\text{RLD}) = a + b * M$	SS	93	-2.57(0.12)	0.62(0.02)	0.15	0.96	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	50	-2.42(0.21)	0.58(0.03)	0.16	0.93	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	24	-1.88(0.37)	0.50(0.06)	0.17	0.88	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	167	-2.44(0.11)	0.59(0.02)	0.16	0.94	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log(\text{RW})$	SS	87	3.80(0.17)	2.59(0.18)	0.45	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	4.37(0.16)	1.95(0.15)	0.32	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	4.04(0.29)	2.11(0.28)	0.31	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	4.06(0.11)	2.25(0.12)	0.41	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$\log(\text{RW}) = a + b * M$	SS	87	-0.76(0.12)	0.27(0.02)	0.14	0.84	4.8 to 8.1	1.5 to 350
	R	43	-1.61(0.20)	0.41(0.03)	0.15	0.90	4.8 to 7.6	1.1 to 80
	N	23	-1.14(0.28)	0.35(0.05)	0.12	0.86	5.2 to 7.3	3.8 to 63
	All	153	-1.01(0.10)	0.32(0.02)	0.15	0.84	4.8 to 8.1	1.1 to 350
$M = a + b * \log(\text{RA})$	SS	83	3.98(0.07)	1.02(0.03)	0.23	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	4.33(0.12)	0.90(0.05)	0.25	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	3.93(0.23)	1.02(0.10)	0.25	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	4.07(0.06)	0.98(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184
$\log(\text{RA}) = a + b * M$	SS	83	-3.42(0.18)	0.90(0.03)	0.22	0.96	4.8 to 7.9	3 to 5,184
	R	43	-3.99(0.36)	0.98(0.06)	0.26	0.94	4.8 to 7.6	2.2 to 2,400
	N	22	-2.87(0.50)	0.82(0.08)	0.22	0.92	5.2 to 7.3	19 to 900
	All	148	-3.49(0.16)	0.91(0.03)	0.24	0.95	4.8 to 7.9	2.2 to 5,184

\*SRL—surface rupture length (km); RLD—subsurface rupture length (km); RW—down-dip rupture width (km), RA—rupture area (km<sup>2</sup>).  
†SS—strike slip; R—reverse; N—normal.

**Fuente:** Wells – Coppermith

Para magnitud de momento de los terremotos que ocurren en los entornos de subducción se usará la propuesta presentada por Strasser et al. 2010, se observan diferencias de hasta 0,5M unidades, y la discrepancia entre los valores predichos por las relaciones derivadas en el estudio y las relaciones de Wells y Coppersmith aumentan al aumentar la longitud de ruptura, por lo tanto la magnitud. [32]

**Tabla 6.-** Regresiones de longitud de ruptura, ancho de ruptura, área de ruptura y magnitud de momento (Mw)

	<i>a</i>	s.e. ( <i>a</i> )	<i>b</i>	s.e. ( <i>b</i> )	$\sigma$	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>N</i>
$\log_{10}(L) = a + b \times M_w$	-2.477	0.222	0.585	0.029	0.180	0.814	95
$\log_{10}(W) = a + b \times M_w$	-0.882	0.226	0.351	0.029	0.173	0.634	85
$\log_{10}(A) = a + b \times M_w$	-3.476	0.397	0.952	0.051	0.304	0.805	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(L)$	4.868	0.141	1.392	0.069	0.277	0.814	95
$M_w = a + b \times \log_{10}(W)$	4.410	0.277	1.805	0.151	0.392	0.634	85
$M_w = a + b \times \log_{10}(A)$	4.441	0.179	0.846	0.046	0.286	0.805	85

**Fuente:** Strasser, Arango y Bommer

## 2.2. HIPÓTESIS

¿El estudio de peligro sísmico determinista influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la ciudadela El Dorado en la Parroquia Huachi Chico?

## 2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPOTESIS

### 2.3.1. Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de la ciudadela El Dorado en la Parroquia Huachi Chico

### 2.3.2. Variable Independiente

Peligro sísmico determinista

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Los tipos de investigación que se usarán en el presente proyecto serán: exploratorio, de laboratorio y descriptivo.

Exploratorio ya que es necesario realizar una investigación acerca del espectro propio que posee la ciudadela El Dorado de la parroquia Huachi Chico de la ciudad de Ambato, los cuales no han sido determinados, la metodología es evaluar los espectros de respuesta de los sistemas de fallas seleccionadas con el espectro propuesto por la NEC-2015.

De laboratorio ya que se realizará ensayos de penetración estándar SPT que permitan determinar el tipo de suelo del sector. Se utilizará el laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Descriptivo ya que en base al espectro determinista y en comparación con el espectro dado por la NEC se podrá diferenciar los niveles de desempeño con los cuales cada uno influye a la estructura analizada, logrando así caracterizar su comportamiento sísmico y capacidad resistente de las mismas.

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **Población:**

El Estudio de Peligro Sísmico Determinista se lo realizará en la ciudadela El Dorado de la parroquia Huachi Chico de la ciudad de Ambato con un área de 48,5 hectáreas; para ello es necesario conocer las características geotectónicas del suelo y las GMPEs que se va a utilizar.

**Muestra:**

Por tratarse de un trabajo experimental se tendrá en cuenta la recomendación de la NEC 2015, lo mínimo recomendado debe ser 3 perforaciones para el estudio de suelos; para el presente trabajo se ha realizado 5 perforaciones.

Los GMPEs que se utilizarán son:

**Sismos Intraplaca (Fallamiento Cortical)**

- Boore y Atkinson (2008)
- Akkar y Bommer (2010)
- Kanno (2006)

**Sismos Subducción**

- Youngs (1997)
- Zhao (2006)

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### Variable Independiente

Peligro Sísmico Determinista

**Tabla 7.-** Operacionalización de la variable independiente

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es el desarrollo de un sismo de tamaño especificado en el cual basar el estudio de peligro de movimiento de una determinada área de interés.	Movimiento sísmico	-Sismo  -Aceleración sísmica máxima en el terreno (PGA)	-¿Cuál es la magnitud de sismo?  -¿Cuál es la aceleración máxima en el terreno que se ha obtenido?	-Experimental  -Experimental -Bibliográfica

**Fuente:** Sarango Damián

### Variable Dependiente

Nivel de amenaza de las estructuras de la ciudadela El Dorado en la Parroquia Huachi Chico

**Tabla 8.-** Operacionalización de la variable dependiente

<b>Contextualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
Probabilidad de que ocurra un sismo durante un periodo de tiempo en un determinado lugar	Amenaza sísmica	-Energía liberada  -Distancia entre el epicentro y el área de estudio	-¿La energía liberada presenta amenaza significativa?  -¿La distancia que existe tiene relevancia en el nivel de amenaza?	-Experimental -Bibliográfica  -Experimental -Bibliográfica

**Fuente:** Sarango Damián

### 3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**Tabla 9.-** Plan de recolección de información

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
<b>1. ¿Para qué?</b>	Para evaluar el peligro sísmico en la ciudadela El Dorado de la parroquia Huachi Chico mediante la determinación de espectros de respuesta asociados a las fallas seleccionadas.
<b>2. ¿De qué personas u objetos?</b>	Régimen tectónico, fallas seleccionadas y tipo de suelo en el área de estudio.
<b>3. ¿Sobre qué aspectos?</b>	Influencia de peligro sísmico determinista para las estructuras
<b>4. ¿Quién?</b>	Sarango Álvarez Damián Alexander
<b>5. ¿Dónde?</b>	Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
<b>6. ¿Cómo?</b>	Investigación bibliográfica Ensayos de laboratorio NEC 2015

**Fuente:** Sarango Damián

### **3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

El procedimiento a seguir será:

- Identificación de régimen tectónico del área de estudio
- Establecer a partir de los datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) las fallas representativas en el área de estudio.
- Identificación mediante el ensayo de penetración estándar SPT y de laboratorio, el tipo de perfil de suelo que prevalece en el área de estudio, en base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción
- Determinar mediante la relación de Ohta et al. 1972 la velocidad de onda cortante en el área de estudio
- Determinar mediante el uso de la metodología Wells-Coppersmith el potencial futuro de los sismos que se podrían producir debido a la ruptura de las fallas seleccionadas.
- Estimar en base a las Ecuaciones de Predicción de Movimiento de Tierra (GMPEs) la aceleración máxima del suelo de acuerdo al régimen tectónico
- Comparación del espectro de diseño obtenido del análisis de peligro sísmico determinista con el de la NEC 2015.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **4.1.1. Régimen Tectónico**

El territorio Ecuatoriano se encuentra conformado en su mayoría por una región continental, y una parte insular conformada por las Islas Galápagos; se encuentra dividido en cuatro regiones: Costa, Sierra, Amazonia y Región Insular, siendo la Sierra donde existen la mayor cantidad de fallas debido a pliegues que se producen por la geodinámica de la región. [20]

Ecuador presenta un sistema de fallas denominado Sistema Mayor Dextral presentando concentración de fallas en la Sierra Ecuatoriana; estas fallas junto con la subducción presente en la Costa son las principales fuentes generadoras de sismos. [20]

#### 4.1.2. Zona de Estudio

Las calles que limitan el área de estudio son: Av. Los Chasquis; Av. Víctor Hugo; Av. Jácome Clavijo; Miguel de Cervantes y Saavedra; Av. Atahualpa; Río Payamino

**Figura 21.-** Área de estudio



**Fuente:** Google Earth Pro

#### 4.1.3. Ubicación de las perforaciones

Para el presente estudio se realizó 5 perforaciones, las mismas que se encuentran mejor detalladas a continuación:

**Tabla 10.-** Ubicación de los ensayo SPT

N°	Dirección	Coordenadas	
		E	N
1	Río Palora Río Arajuno	764038 m	9859833 m
2	Medardo Ángel Silva - Capítulos que se le olvidaron a Cervantes	763731 m	9859515 m
3	Arturo Borja Miguel Ángel Zambrano	763599 m	9859784 m
4	Av. Los Chasquis Rio Quijos	764123 m	9859504 m
5	José Rodríguez Labandera Julio César Sandoval	763435 m	9859601 m

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla 10 se puede observar la ubicación de cada SPT, así como las coordenadas de cada punto, las mismas que se encuentran en la zona 17 M.

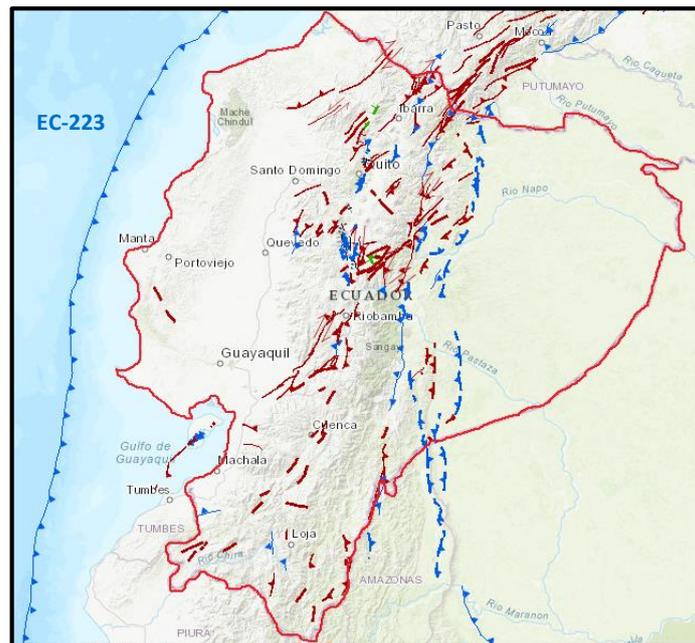
**Figura 22.-** Ubicación de los ensayos SPT



**Fuente:** Google Earth Pro

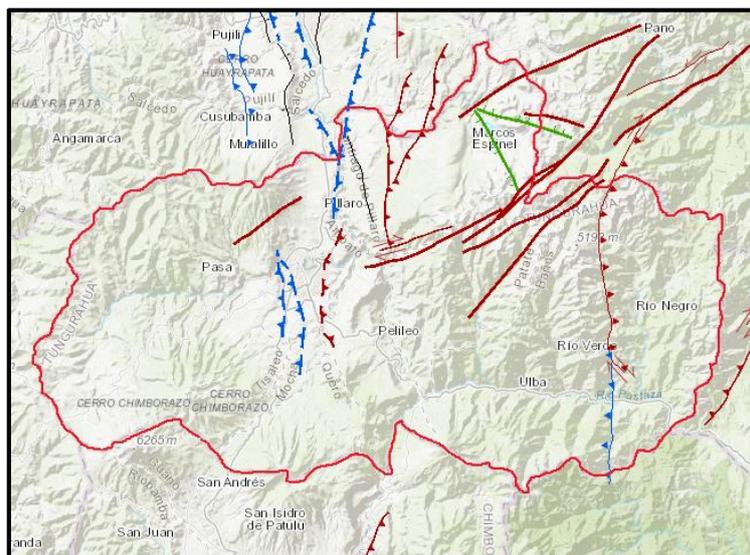
#### 4.1.4. Selección de Fallas Geológicas más Representativas

**Figura 23.-** Fallas Geológicas de Ecuador



**Fuente.-** Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional

**Figura 24.-** Fallas Geológicas Tungurahua



**Fuente.-** Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional

**Figura 25.-** Fallas Geológicas en el Área de Estudio



**Fuente.-** Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional

**Tabla 11.-** Fallas Geológicas

Código	Nombre	Tipo	Longitud de la falla (km)	Distancia al lugar de estudio (km)
EC-223	Subducción	Inversa	1536,50	306,65
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	12,00	1,20
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	16,30	0,084
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	17,7	4,23

**Fuente.-** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

**Cálculo de la Magnitud de Momento para Fallas Corticales**

Se puede obtener la magnitud de momento,  $M_w$ . Mediante la siguiente ecuación presentada por Wells y Coppersmith.

$$M_w = a + b * \log(SRL)$$

Donde:

- a, b: Coeficientes
- SRL: Longitud de ruptura superficial

El cálculo para cada una de las magnitudes de momento para fallas corticales son presentadas a continuación:

- **Falla Huachi**

$$M_w = a + b * \log(SRL)$$

$$M_w = 5 + 1.22 * \log(12)$$

$$M_w = 6.3$$

- **Falla Ambato**

$$M_w = a + b * \log(SRL)$$

$$M_w = 5 + 1.22 * \log(16.30)$$

$$M_w = 6.5$$

- **Falla Totoras**

$$M_w = a + b * \log(SRL)$$

$$M_w = 5 + 1.22 * \log(17.70)$$

$$M_w = 6.5$$

### **Cálculo de la Magnitud de Momento para Fallas de Subducción**

Para obtener la magnitud de momento,  $M_w$ . Para eventos de subducción se usa la ecuación presentada por Strasser et al. 2010

$$M_w = a + b * \log(L)$$

El cálculo de la magnitud de momento utilizando la formula presentada anteriormente se presenta a continuación:

$$M_w = a + b * \log(L)$$

$$M_w = 4.868 + 1.392 * \log(1536.50)$$

$$M_w = 9.3$$

#### **4.1.5. Características del Suelo**

##### **4.1.5.1. Procedimiento de clasificación**

Para la utilización de la tabla presentada por la NEC-2015 para definir el tipo de suelo se realiza el siguiente proceso.

- a) Verificar que el suelo presenta características para ser suelo tipo F, en cuyo caso debe realizarse un estudio sísmico para este tipo de suelo.
- b) Verificar la existencia de un espesor mayor o igual a 3m. de arcilla blanca, en cuyo caso se clasifica al suelo como tipo E.
- c) Clasificar el suelo utilizando uno de los tres criterios: Velocidad de onda cortante promedio, Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar (SPT) para el 60% de la energía teórica, a lo largo de todo el perfil del suelo. [6]

**Tabla 12.-** Clasificación de los perfiles de suelo

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

**Fuente.-** Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015

Donde:

- N: Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar.
- $V_{s30}$ : Velocidad de onda cortante promedio

#### **4.1.5.2. Clasificación del suelo según el SUCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de suelos fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación a su sistema de clasificación propuesto en 1942; los suelos de partículas gruesas y los de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por el tamiz N° 200, se considera suelo grueso a los retenidos en dicha malla y fino a los que pasan, así un suelo se considera grueso si más del 50% es retenido en el tamiz y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz. [33]

**Tabla 13.- Clasificación de suelos**

Tipo	Sub-Tipos	Identificación		Símbolo de Grupo			
Suelos (partículas menores de 7.5 cm)	SUELOS GRUESOS Más de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0.075 mm)	GRAVA Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>11</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM	
				Grava arcillosa; mezclas de grava, arena y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	GC	
			ARENA Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) entre 1 y 3 <sup>11</sup>	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SW
					Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	SP
	ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.		Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM		
		Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC			
	SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla N°200 (0.075 mm)	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML		
				Arcilla de baja compresibilidad; mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CL		
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL		
			Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH		
				Arcilla de alta compresibilidad; mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	CH		
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la Carta de plasticidad mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH		
	ALTAMENTE ORGANICOS		Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P <sub>t</sub>			

Fuente: SUCS

Usando la tabla presentada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se procederá a determinar el tipo de suelo en las siguientes tablas por medio de granulometrías de las muestras.

**Tabla 14.-** Clasificación de Suelo para la perforación N°1

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
Profundidad			<b>-2,00</b>
<b># 4</b>	4.1	1.11	98.89
<b># 200</b>	243.3	65.61	34.39
<b>Fuente</b>	123.4	33.28	
Profundidad			<b>-3,00</b>
<b># 4</b>	0	0	100
<b># 200</b>	304	70.68	29.32
<b>Fuente</b>	126.1	29.32	
<b>Total</b>	430.1	100	
Profundidad			<b>-4,00</b>
<b># 4</b>	2.1	0.70	99.30
<b># 200</b>	199.4	66.85	33.15
<b>Fuente</b>	96.8	32.45	
<b>Total</b>	298.3	100	
Profundidad			<b>-5,00</b>
<b># 4</b>	4.9	1.23	98.77
<b># 200</b>	232.5	58.48	41.52
<b>Fuente</b>	160.2	40.29	
<b>Total</b>	397.6	100	
Profundidad			<b>-6,00</b>
<b># 4</b>	9.4	1.82	98.18
<b># 200</b>	336.6	65.03	34.97
<b>Fuente</b>	171.6	33.15	
<b>Total</b>	517.6	100	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla anterior se determina que en todos los niveles, la muestra de suelo más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, por lo que es un suelo de granos gruesos, y más del 50% pasa el tamiz N° 4; por lo que se clasifica el tipo de suelo como arena.

**Tabla 15.-** Clasificación de Suelo para la perforación N°2

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
Profundidad			<b>-2,00</b>
<b># 4</b>	9.8	6.19	93.81
<b># 200</b>	101.1	63.91	36.09
<b>Fuente</b>	47.3	29.9	
<b>Total</b>	158.2	100	
Profundidad			<b>-3,00</b>
<b># 4</b>	6	3.75	96.25
<b># 200</b>	109.4	68.33	31.67
<b>Fuente</b>	44.7	27.92	
<b>Total</b>	160.1	100	
Profundidad			<b>-4,00</b>
<b># 4</b>	3.6	1.76	98.24
<b># 200</b>	130.8	63.96	36.04
<b>Fuente</b>	70.1	34.28	
<b>Total</b>	204.5	100	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla anterior se determina que en todos los niveles, la muestra de suelo más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, por lo que es un suelo de granos gruesos, y más del 50% pasa el tamiz N° 4; por lo que se clasifica el tipo de suelo como arena.

**Tabla 16.-** Clasificación de Suelo para la perforación N°3

<b>TAMIZ #</b>	<b>PESO RETENIDO (gr)</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% QUE PASA</b>
Profundidad			<b>-2,00</b>
# 4	7.4	3.64	96.36
# 200	129.7	63.77	36.23
<b>Fuente</b>	66.3	32.6	
<b>Total</b>	203.4	100	
Profundidad			<b>-3,00</b>
# 4	3	1.77	98.23
# 200	123.3	72.83	27.17
<b>Fuente</b>	43	25.40	
<b>Total</b>	169.3	100	
Profundidad			<b>-4,00</b>
# 4	6.5	2.77	97.23
# 200	165.1	70.29	29.71
<b>Fuente</b>	63.3	26.95	
<b>Total</b>	234.9	100	
Profundidad			<b>-5,00</b>
# 4	7.4	5.32	94.68
# 200	92	66.19	33.81
<b>Fuente</b>	39.6	28.49	
<b>Total</b>	139	100	
Profundidad			<b>-6,00</b>
# 4	2	1.25	98.75
# 200	99.3	62.02	37.98
<b>Fuente</b>	58.8	36.73	
<b>Total</b>	160.1	100	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla anterior se determina que en todos los niveles, la muestra de suelo más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, por lo que es un suelo de granos gruesos, y más del 50% pasa el tamiz N° 4; por lo que se clasifica el tipo de suelo como arena.

**Tabla 17.-** Clasificación de Suelo para la perforación N°4

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
Profundidad			<b>-2,00</b>
# 4	6.2	3.13	96.87
# 200	133.7	67.49	32.51
<b>Fuente</b>	58.2	29.38	
<b>Total</b>	198.1	100	
Profundidad			<b>-3,00</b>
# 4	6.9	2.90	97.10
# 200	149.6	62.94	37.06
<b>Fuente</b>	81.2	34.16	
<b>Total</b>	237.7	100	
Profundidad			<b>-4,00</b>
# 4	6.7	2.24	97.76
# 200	203.9	68.13	31.87
<b>Fuente</b>	88.7	29.64	
<b>Total</b>	299.3	100	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla anterior se determina que en todos los niveles, la muestra de suelo más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, por lo que es un suelo de granos gruesos, y más del 50% pasa el tamiz N° 4; por lo que se clasifica el tipo de suelo como arena.

**Tabla 18.-** Clasificación de Suelo para la perforación N°5

TAMIZ #	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA
Profundidad			<b>-2,00</b>
# 4	30.3	5.30	94.70
# 200	361	63.19	36.81
<b>Fuente</b>	180	31.51	
<b>Total</b>	571.3	100	
Profundidad			<b>-3,00</b>
# 4	1.5	0.45	99.55
# 200	223.6	66.37	33.63
<b>Fuente</b>	111.8	33.18	
<b>Total</b>	336.9	100	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la tabla anterior se determina que en todos los niveles, la muestra de suelo más del 50% es retenido en el tamiz N° 200, por lo que es un suelo de granos gruesos, y más del 50% pasa el tamiz N° 4; por lo que se clasifica el tipo de suelo como arena.

#### **4.1.5.3. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**

Para el ensayo de penetración estándar se seguirá los pasos establecidos en la norma INEN 689, donde explica lo siguiente:

- a) Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de  $75 \pm 5$  cm sobre la cabeza de golpe. [34]
- b) Debe usarse cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas. [34]
- c) La barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete debe estar completamente vertical para evitar la pérdida de energía por la fricción del martinete sobre la barra. [34]
- d) El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, como un proceso de preparación y ajuste para el ensayo, por lo que, el número de golpes necesarios para este primer tramo de hincado tiene un valor relativo de orientación. [34]
- e) Se inicia contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm en dos intervalos de 15cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo. [34]
- f) Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada, se debe anotar el número de golpes efectuados y longitud de penetración del muestreador. [34]
- g) Antes de extraer el muestreador a la superficie se debe girarlo por lo menos dos revoluciones, a fin de cortar la muestra por el fondo, posteriormente, se extrae el muestreador a la superficie, para determinar la longitud de la muestra recuperada. [34]
- h) La muestra se describirá según lo establecido en la Norma INEN 693, se lo debe cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio. [34]
- i) Se deben etiquetar adecuadamente las muestras con todos los datos necesarios para los posteriores ensayos. [34]

**Tabla 19.-** Ensayo de Penetración Estándar N°1

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (PROMEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
<b>0,55</b>	55	Limpieza		25	D
<b>0,70</b>	15	5	9		
<b>0,85</b>	15	4			
<b>1,00</b>	15	5			
<b>1,55</b>	55	Limpieza			
<b>1,70</b>	15	5	13		
<b>1,85</b>	15	6			
<b>2,00</b>	15	7			
<b>2,55</b>	55	Limpieza			
<b>2,70</b>	15	8	17		
<b>2,85</b>	15	8			
<b>3,00</b>	15	9			
<b>3,55</b>	55	Limpieza			
<b>3,70</b>	15	9	22		
<b>3,85</b>	15	11			
<b>4,00</b>	15	11			
<b>4,55</b>	55	Limpieza			
<b>4,70</b>	15	18	46		
<b>4,85</b>	15	23			
<b>5,00</b>	15	23			
<b>5,55</b>	55	Limpieza			
<b>5,70</b>	15		-		
<b>5,85</b>	15	Rechazo			
<b>6,00</b>	15				

**Elaboración:** Sarango Damián

La tabla 19 presenta los resultados del ensayo SPT en el pozo N°1, donde el valor promedio de N es 25, este valor reside dentro del rango de  $50 > N \geq 15$  correspondiente a un tipo de perfil D, lo que da lugar a clasificarlo como un suelo tipo D.

**Tabla 20.-** Ensayo de Penetración Estándar N°2

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (PROMEDIO)</b>	<b>TIPO DE PEFIL</b>
<b>0,55</b>	55	Limpieza	15	49	D
<b>0,70</b>	15	7			
<b>0,85</b>	15	8			
<b>1,00</b>	15	7			
<b>1,55</b>	55	Limpieza	37		
<b>1,70</b>	15	17			
<b>1,85</b>	15	19			
<b>2,00</b>	15	18			
<b>2,55</b>	55	Limpieza	60		
<b>2,70</b>	15	29			
<b>2,85</b>	15	30			
<b>3,00</b>	15	30			
<b>3,55</b>	55	Limpieza	-		
<b>3,70</b>	15				
<b>3,85</b>	15	Rechazo			
<b>4,00</b>	15				

**Elaboración:** Sarango Damián

La tabla 20 presenta los resultados del ensayo SPT en el pozo N°2, donde el valor promedio de N es 49, este valor reside dentro del rango de  $50 > N \geq 15$  correspondiente a un tipo de perfil D, lo que da lugar a clasificarlo como un suelo tipo D.

**Tabla 21.-** Ensayo de Penetración Estándar N°3

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (PROMEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
<b>0,55</b>	55	Limpieza			
<b>0,70</b>	15	6	16		
<b>0,85</b>	15	7			
<b>1,00</b>	15	9			
<b>1,55</b>	55	Limpieza			
<b>1,70</b>	15	13	25		
<b>1,85</b>	15	12			
<b>2,00</b>	15	13			
<b>2,55</b>	55	Limpieza			
<b>2,70</b>	15	18	39		
<b>2,85</b>	15	20			
<b>3,00</b>	15	19			
<b>3,55</b>	55	Limpieza		46	D
<b>3,70</b>	15	26	54		
<b>3,85</b>	15	27			
<b>4,00</b>	15	27			
<b>4,55</b>	55	Limpieza			
<b>4,70</b>	15	33	66		
<b>4,85</b>	15	32			
<b>5,00</b>	15	34			
<b>5,55</b>	55	Limpieza			
<b>5,70</b>	15				
<b>5,85</b>	15	Rechazo	-		
<b>6,00</b>	15				

**Elaboración:** Sarango Damián

La tabla 21 presenta los resultados del ensayo SPT en el pozo N°3, donde el valor promedio de N es 46, este valor reside dentro del rango de  $50 > N \geq 15$  correspondiente a un tipo de perfil D, lo que da lugar a clasificarlo como un suelo tipo D.

**Tabla 22.-** Ensayo de Penetración Estándar N°4

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (PROMEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
<b>0,55</b>	55	Limpieza	23	35	D
<b>0,70</b>	15	9			
<b>0,85</b>	15	11			
<b>1,00</b>	15	12			
<b>1,55</b>	55	Limpieza	27		
<b>1,70</b>	15	11			
<b>1,85</b>	15	13			
<b>2,00</b>	15	14			
<b>2,55</b>	55	Limpieza	43		
<b>2,70</b>	15	15			
<b>2,85</b>	15	20			
<b>3,00</b>	15	23			
<b>3,55</b>	55	Limpieza	-		
<b>3,70</b>	15				
<b>3,85</b>	15	Rechazo			
<b>4,00</b>	15				

**Elaboración:** Sarango Damián

La tabla 22 presenta los resultados del ensayo SPT en el pozo N°4, donde el valor promedio de N es 35, este valor reside dentro del rango de  $50 > N \geq 15$  correspondiente a un tipo de perfil D, lo que da lugar a clasificarlo como un suelo tipo D.

**Tabla 23.-** Ensayo de Penetración Estándar N°5

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>NSPT (PARCIAL)</b>	<b>NSPT (TOTAL)</b>	<b>NSPT (PROMEDIO)</b>	<b>TIPO DE PERFIL</b>
<b>0,55</b>	55	Limpieza	17	42	D
<b>0,70</b>	15	7			
<b>0,85</b>	15	8			
<b>1,00</b>	15	9			
<b>1,55</b>	55	Limpieza	42		
<b>1,70</b>	15	20			
<b>1,85</b>	15	22			
<b>2,00</b>	15	20			
<b>2,55</b>	55	Limpieza	-		
<b>2,70</b>	15				
<b>2,85</b>	15	Rechazo			
<b>3,00</b>	15				

**Elaboración:** Sarango Damián

La tabla 23 presenta los resultados del ensayo SPT en el pozo N°5, donde el valor promedio de N es 42, este valor reside dentro del rango de  $50 > N \geq 15$  correspondiente a un tipo de perfil D, lo que da lugar a clasificarlo como un suelo tipo D.

#### 4.1.5.4. Velocidad Media de la Onda de Cortante $V_{s30}$

Para representar una correlación entre la velocidad de la onda de corte y la resistencia a la penetración estándar, se usaron 500 datos de perforaciones para obtener una fórmula empírica, teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas del suelo. Ohta et al. (1972) presenta la siguiente ecuación para suelos arenosos. [35]

La relación propuesta entre  $V_s$  (m/s) y los valores de N para arena según Ohta et al. 1972 es la siguiente:

$$V_s = 87,2 * N_{SPT}^{0,36}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad de onda de corte

$N_{SPT}$ : Número de golpes promedio del ensayo penetración estándar

Ensayo de Penetración Estándar N°1

$$V_s = 87,2 * 25^{0,36}$$

$$V_s = 277,83 \text{ m/s}$$

Ensayo de Penetración Estándar N°2

$$V_s = 87,2 * 49^{0,36}$$

$$V_s = 353,99 \text{ m/s}$$

Ensayo de Penetración Estándar N°3

$$V_s = 87,2 * 46^{0,36}$$

$$V_s = 346,03 \text{ m/s}$$

Ensayo de Penetración Estándar N°4

$$V_s = 87,2 * 35^{0,36}$$

$$V_s = 313,60 \text{ m/s}$$

Ensayo de Penetración Estándar N°5

$$V_s = 87,2 * 42^{0,36}$$

$$V_s = 334,88 \text{ m/s}$$

Con la ecuación utilizada según Ohta et al. (1972), se logra comprobar que todos los resultados se encuentran dentro del rango para perfil de suelo tipo D, obteniendo los resultados esperados para este tipo de perfil de suelo

**Tabla 24.-** Valores de Velocidad de Onda Cortante ( $V_{s30}$ )

Numero de Perforación	NSPT	Tipo de perfil	Vs30 (m/s)	Vs30 promedio (m/s)
1	25	D	277,83	325,26
2	49	D	353,99	
3	46	D	346,03	
4	35	D	313,60	
5	42	D	334,88	

**Elaboración:** Sarango Damián

En la presenta tabla se ha obtenido los valores de  $V_{S30}$  mediante la ecuación empírica de Ohta et al. (1972), la misma que podemos comprobar con los valores de  $V_{S30}$  de cada perfil presentes en la tabla 12 tomada de la NEC-2015, la cual señala que para un tipo de perfil tipo D  $360\text{m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$ ; debido a que los  $V_{S30}$  de todas las perforaciones se encuentran dentro de lo establecido por la NEC, se corrobora que el tipo de perfil de suelo es D.

#### 4.1.6. Ecuaciones de atenuación para Cortical Intraplaca

Sismos corticales superficiales con profundidades  $\leq 30$  km, para el presente estudio se ha utilizado son siguientes valores:

- $V_{S30} = 325.26$

##### Falla de Ambato

- $M_w = 6,5$
- $R_{jb} = 0,084$  km

##### Falla de Huachi

- $M_w = 6,3$
- $R_{jb} = 1,20$  km

##### Falla de Totoras

- $M_w = 6,5$
- $R_{jb} = 4,23$  km

#### 4.1.6.1. Modelo Boore y Atkinson (2008)

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M)$$

Donde:

- $F_M, F_D, F_S$ .- Coeficientes.
- $M$ .- Magnitud de momento
- $R_{JB}$ .- Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio
- $V_{S30}$ .- Velocidad media de la onda de corte.

Para el cálculo de  $F_D$  se utilizan coeficientes especificados en el anexo B-2, además se usar los siguientes valores de referencia.

**Tabla 25.-** Variables usadas para el cálculo de  $F_D$

VARIABLE	VALOR
<b>C<sub>i</sub></b>	(Anexo B-2)
<b>h</b>	
<b>M<sub>ref</sub></b>	4,5
<b>R<sub>ref</sub></b>	1 km

**Elaboración:** Sarango Damián

Para el cálculo de  $F_M$  se utilizan coeficientes especificados en el anexo B-3, además se usar las siguientes variables para fallas inversas

**Tabla 26.-** Variables usadas para el cálculo de  $F_M$

VARIABLE	VALOR
<b>E<sub>i</sub></b>	(Anexo B-3)
<b>M<sub>h</sub></b>	
<b>U</b>	0
<b>SS</b>	0
<b>NS</b>	0
<b>RS</b>	1

**Elaboración:** Sarango Damián

Para el cálculo de  $F_S$  se utilizan coeficientes especificados en el anexo B-1, además de usar el siguiente valor de referencia.

**Tabla 27.-** Variable usada para el cálculo de  $F_S$

VARIABLE	VALOR
<b>B<sub>i</sub></b>	(Anexo B-1)
<b>blin</b>	
<b>V<sub>ref</sub></b>	760 m/s
<b>a<sub>1</sub></b>	0,03g
<b>a<sub>2</sub></b>	0,09g
<b>V<sub>1</sub></b>	180 m/s
<b>V<sub>2</sub></b>	300 m/s

**Elaboración:** Sarango Damián

#### 4.1.6.2. Modelo Akkar y Bommer (2010)

$$\begin{aligned} \text{Log } y = & b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R_{jb}^2 + b_6^2} + b_7S_S + b_8S_A \\ & + b_9F_N + b_{10}F_R \end{aligned}$$

Donde:

- $b_i$ .- Coeficientes.
- $M$ .- Magnitud de momento
- $R_{JB}$ .- Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio
- $F_N$ .- Falla normal
- $F_R$ .- Falla inversa
- $S_A$ .- Suelo rígido
- $S_S$ .- Suelo suave

Para el cálculo se utilizan coeficientes especificados en el anexo C, además de usar los siguientes valores:

**Tabla 28.-** Valores utilizados en el método de Akkar y Bommer

CATEGORÍA	FACTOR	VALOR
TIPO DE FALLA (INVERSA)	FN	0
	FR	1
TIPO DE SUELO (BLANDO)	SS	1
	SA	0

Elaboración: Sarango Damián

#### 4.1.6.3. Modelo Kanno (2006)

Para:  $D \leq 30 \text{ km}$

$$\text{Log } pre = a_1M_w + b_1X - \log(X + d_1 10^{0.5M_w}) + c_1$$

Para:  $D > 30 \text{ km}$

$$\text{Log } pre = a_2M_w + b_2X - \log(X) + c_2$$

Donde:

- **D.-** Profundidad focal
- **a, b, c, d.-** Coeficientes.
- **Mw.-** Magnitud de momento
- **X.-** Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio

Para el cálculo se utilizan coeficientes especificados en el anexo D, además de usar los siguientes valores:

**Tabla 29.-** Valores utilizados en el método de Kanno

VARIABLE	VALOR
<b>a1</b>	(Anexo D)
<b>b1</b>	
<b>c1</b>	
<b>d1</b>	
<b>ε1</b>	
<b>X</b>	6
<b>e1</b>	0.5
<b>D</b>	30 km

**Elaboración:** Sarango Damián

#### **4.1.7. Ecuaciones de atenuación para Subducción Interplaca**

La profundidad focal para este tipo de subducción es igual a 125km, puesto que en eventos registrados las profundidades focales han sido mayores a 100km; en estos modelos se usan profundidades focales de 125km, los valores usados para la falla de subducción son los siguientes:

##### **Falla de Subducción**

- $M_w = 9,3$
- $R_{jb} = 306,65 \text{ km}$

#### 4.1.7.1. Modelo Youngs (1997)

$$\begin{aligned} \ln PGA = & -0,6687 + 1,438M_w + C_1 + C_2(10 - M_w)^3 + C_3 \\ & * \ln(R + 1,097e^{0,617M_w}) + 0,00648H + 0,3643Z_T \end{aligned}$$

Donde:

- **PGA.-** Aceleración espectral en g
- **R.-** Distancia más cercana a la ruptura
- **Ci.-** Coeficientes.
- **Mw.-** Magnitud de momento
- **H.-** Profundidad focal (km)
- **Z<sub>T</sub>.** Tipo de origen

Para el cálculo se utilizan coeficientes especificados en el anexo E, además de usar los siguientes valores:

**Tabla 30.-** Valores utilizados en el método de Youngs

VARIABLE	VALOR
<b>Ci</b>	(Anexo E)
<b>H</b>	100
<b>Z<sub>t</sub></b>	0

**Elaboración:** Sarango Damián

#### 4.1.7.2. Modelo Zhao (2006)

$$\begin{aligned} \log y = & aM_w + bx - \log(r) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL}\log(x) \\ & + C_k \end{aligned}$$

Donde:

- **X.-** Distancia desde el sitio de liberación de energía hasta el área de estudio en km
- **a, b, e, C<sub>k</sub>.** Coeficientes.
- **Mw.-** Magnitud de momento
- **h.-** Profundidad focal

- **hc.**- Constante
- **C<sub>k</sub>.**- Clase de sitio

Para el cálculo se utilizan coeficientes especificados en el anexo F, además de usar los siguientes valores:

**Tabla 31.-** Valores utilizados en el método de Zhao

VARIABLE	VALOR
<b>C<sub>i</sub></b>	(Anexo F)
<b>h</b>	50
<b>hc</b>	0
<b>δ</b>	1

**Elaboración:** Sarango Damián

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2.1. Magnitud de las fallas

#### 4.2.1.1. Cortical Intraplaca

Tomando en cuenta las longitudes de las fallas presentadas anteriormente en la tabla 11 se puede obtener la magnitud de momento,  $M_w$ . Mediante la siguiente ecuación presentada por Wells y Coppersmith.

$$M_w = a + b * \log(SRL)$$

Donde:

- $M_w$ : Magnitud de momento
- a, b: Coeficientes
- SRL: Longitud de ruptura superficial en km

#### 4.2.1.2. Subducción Interplaca

Para la magnitud de momento de la falla de Subducción tomando en cuenta la longitud presentada en la tabla 11 se usa la ecuación presentada por Strasser et al. 2010

$$Mw = a + b * \log(L)$$

Donde:

- Mw: Magnitud de momento
- a, b: Coeficientes
- L: Longitud de ruptura en km

**Tabla 32.-** Magnitud de Momento (Mw) para cada falla seleccionada

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Magnitud de Momento (Mw)</b>
EC-223	Subducción	Inversa	9,3
EC-344a	Huachi	Inversa Ciega	6,3
EC-344b	Ambato	Inversa Ciega	6,5
EC-345	Totoras	Transcurrente inversa ciega	6,5

**Fuente.-** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

#### 4.2.2. Cálculo de Espectros

Uno de los objetivos planteados para la presente investigación ha sido la evaluación del peligro sísmico del área de estudio, mediante la obtención de espectros de respuesta de las principales fallas que afectan a la zona.

A través de los espectros de peligro, en los que se muestran valores como aceleraciones máximas, se pueden obtener resultados para poder plasmar un espectro de diseño basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y de tipo de suelo. [6]

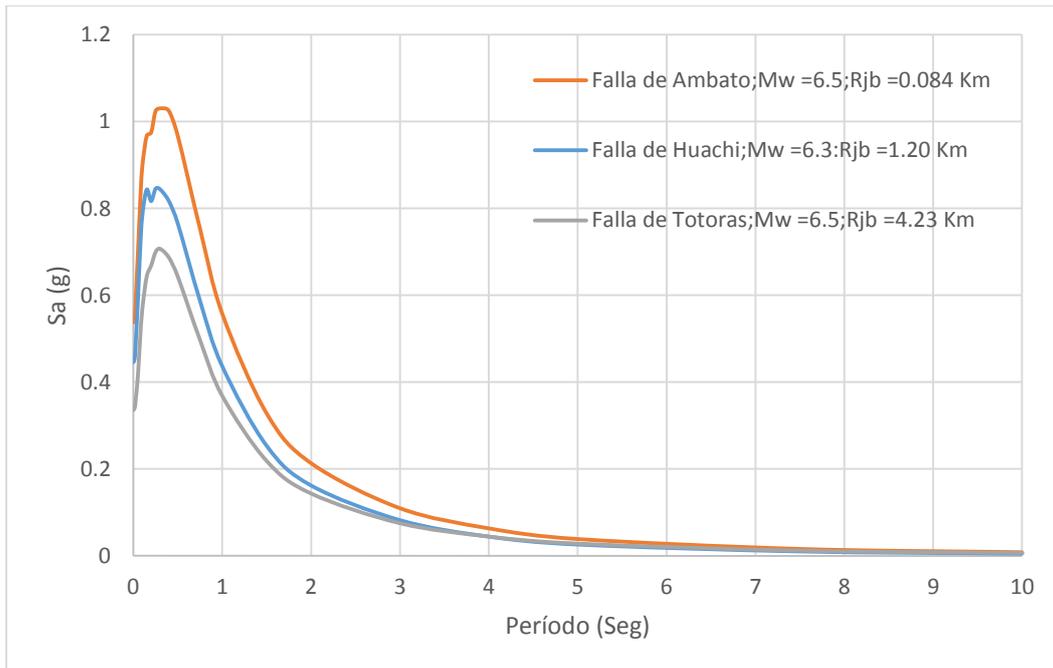
En este estudio se comparará el espectro de diseño presentado por la NEC 2015 con los espectros de aceleración mencionados anteriormente.

En las figuras presentadas a continuación se observa como varía las aceleraciones dependiendo de la longitud de la falla, momento de magnitud y distancia al lugar de estudio, de las fallas seleccionadas; dichas fallas son las más cercanas al área de estudio. Se utilizó un valor de  $V_{s30} = 325,26$  m/s para todas las ecuaciones de atenuación en la presente investigación.

#### 4.2.2.1. Espectros calculados con el modelo de Boore y Atkinson

En el gráfico presentado se aprecia el espectro obtenido con la metodología presentada por Boore y Atkinson para fallas intraplaca (cortical).

**Figura 26.-** Espectro de aceleración modelo Boore y Atkinson 2008



**Elaboración:** Sarango Damián

De la presente figura se puede concluir que en condiciones iguales de suelo el espectro de la Falla de Ambato es la de mayor respuesta en aceleración en el eje de la ordenada durante los primeros 4 segundos; mientras que la Falla de Totoras presenta menor aceleración al ser la de mayor distancia al sitio en dicho período; pero para períodos superiores a 4 segundos los espectros de todas las fallas son similares.

En la siguiente tabla se da a conocer los valores y porcentajes de aceleración para las fallas estudiadas, en relación al valor máximo de aceleración para los periodos indicados para el modelo Boore & Atkinson 2008.

**Tabla 33.-** Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Boore & Atkinson 2008

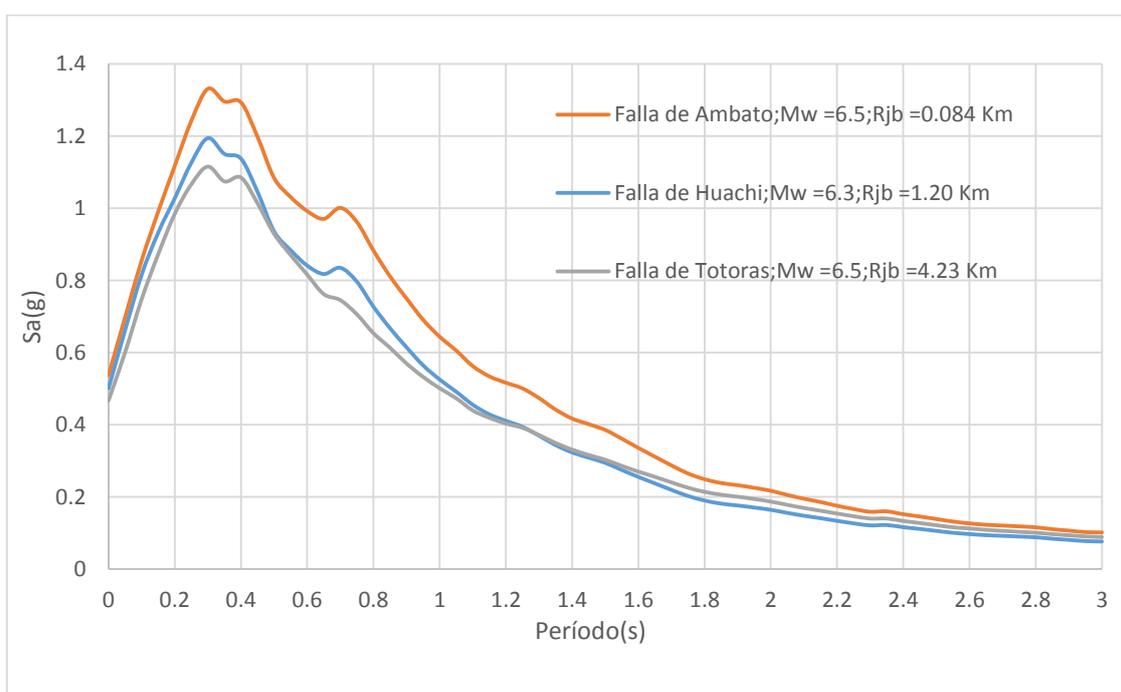
Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Falla Ambato	0.53756	100%	0.30	1.03039	100%
Falla Huachi	0.44588	17.05%	0.25	0.84558	17.94%
Falla Totoras	0.33577	37.54%	0.30	0.70714	31.37%

**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.2. Espectros calculados con el modelo de Akkar y Bommer

El gráfico presenta los espectros calculados para las fallas seleccionadas por medio de la metodología mencionada anteriormente.

**Figura 27.-** Espectro de aceleración modelo Akkar y Bommer 2010



**Elaboración:** Sarango Damián

De la figura se puede concluir que el espectro que presenta mayor aceleración en el eje de las ordenadas es el producido por la Falla de Ambato, también se aprecia que conforme aumenta el período las aceleraciones se asemejan.

En la siguiente tabla se da a conocer los valores y porcentajes de aceleración para las fallas estudiadas, en relación al valor máximo de aceleración para los periodos indicados para el modelo Akkar & Bommer 2010.

**Tabla 34.-** Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Akkar & Bommer 2010

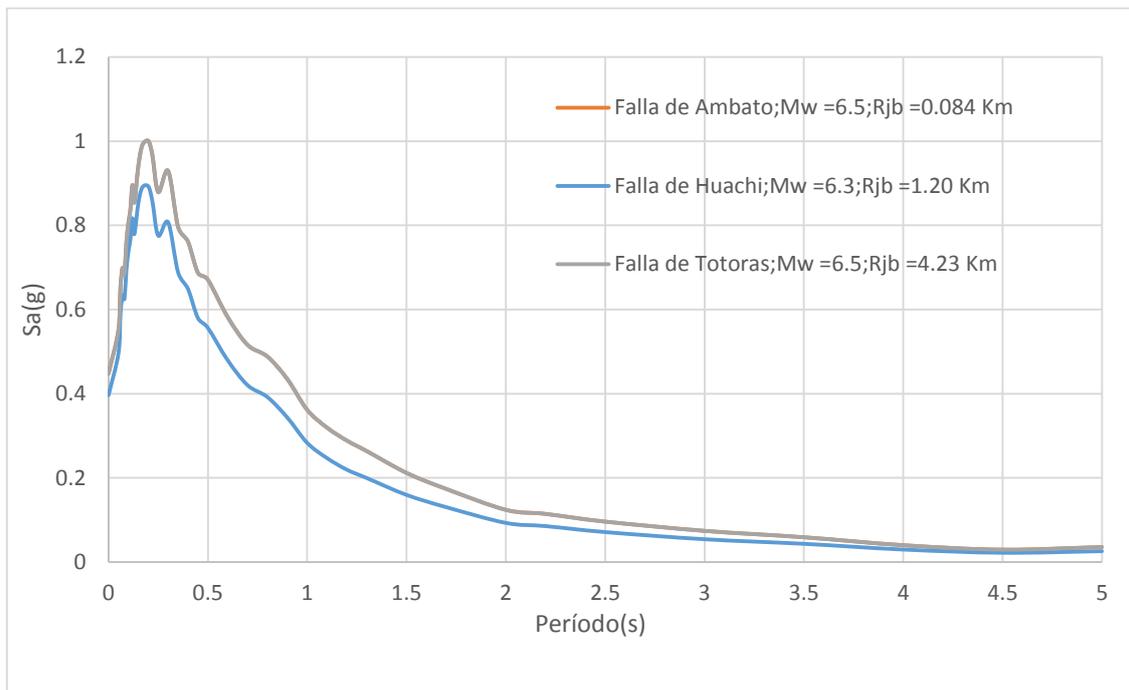
Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg		T = 0,30 seg	
Falla Ambato	0.53726	100%	1.33129	100%
Falla Huachi	0.50093	6.76%	1.19464	10.26%
Falla Totoras	0.46727	13.03%	1.11571	16.19%

Fuente.- Damián Sarango

#### 4.2.2.3. Espectros calculados con el modelo de Kanno

Con la presente metodología se presentan los siguientes espectros para cada una de las fallas seleccionadas.

**Figura 28.-** Espectro de aceleración modelo Kanno 2006



**Elaboración:** Sarango Damián

Por medio de esta metodología se puede concluir que los espectros producidos por las Fallas de Ambato y Totoras tienen similar aceleración; mientras que la Falla de Huachi tiene menores aceleraciones; pero conforme aumenta el período estas aceleraciones se van volviendo similares.

En la siguiente tabla se da a conocer los valores y porcentajes de aceleración para las fallas estudiadas, en relación al valor máximo de aceleración para los periodos indicados para el modelo Kanno 2006.

**Tabla 35.-** Relación Entre Valores y Porcentajes Máximos de Aceleración en Períodos Indicados para Fallas Seleccionadas para el Modelo Kanno 2006

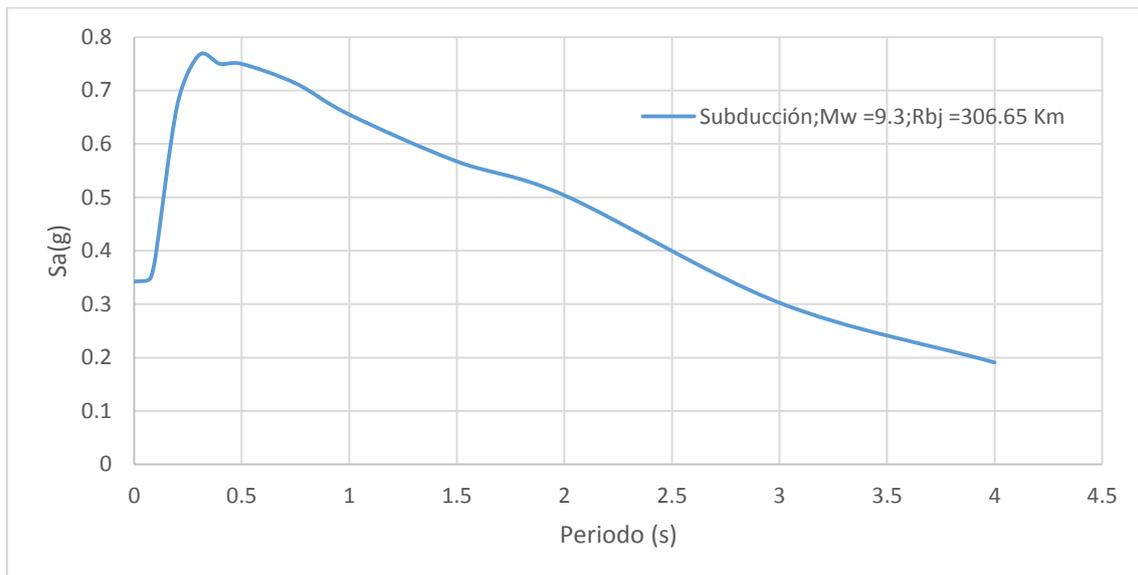
Fallas Corticales	PGA	PGA (%)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg		T = 0,20 seg	
Falla Ambato	0.44763	100%	1.00071	100%
Falla Huachi	0.39640	11.44%	0.89255	10.81%
Falla Totoras	0.44763	100%	1.00071	100%

Fuente.- Damián Sarango

#### 4.2.2.4. Espectro calculado con el modelo de Youngs

Con este método se procederá a obtener el espectro para subducción interplaca

**Figura 29.-** Espectro de aceleración modelo Youngs 1997



**Elaboración:** Sarango Damián

En la presente figura se aprecia la existencia del espectro para la Falla de Subducción, de la Placa de Nazca, posteriormente se comparará con el espectro presentado por la NEC-2015; cabe señalar que la aceleración para la falla de subducción disminuye de manera gradual conforme aumenta el período, cosa que no pasa con las fallas corticales en donde las aceleraciones disminuye drásticamente conforme aumenta el período.

En la siguiente tabla se da a conocer el valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Youngs 1997

**Tabla 36.-** Valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Youngs 1997

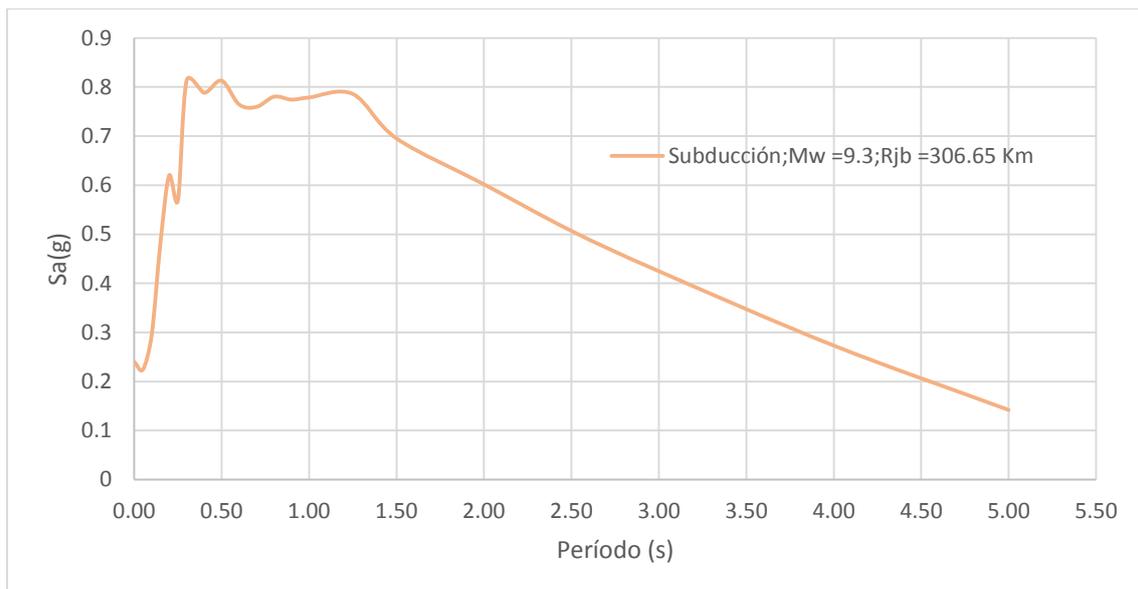
Falla	PGA	Sa (g) (Máx)
	T=0 seg	T = 0,30 seg
Falla Subducción	0.34223	0.76567

**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.5. Espectro calculado con el modelo de Zhao

Para el espectro de subducción se procederá usar la siguiente metodología.

**Figura 30.-** Espectro de aceleración modelo Zhao 2006



**Elaboración:** Sarango Damián

Se observa el espectro obtenido con este método para la Falla de Subducción, en donde la atenuación de las aceleraciones es menos pronunciada conforme aumenta el período de vibración.

En la siguiente tabla se da a conocer el valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Zhao 2006

**Tabla 37.-** Valor máximo de aceleración para la falla de subducción, para el modelo Zhao 2006

Falla	PGA	Sa (g) (Máx)
	T=0 seg	T = 0,30 seg
Falla Subducción	0.24033	0.81340

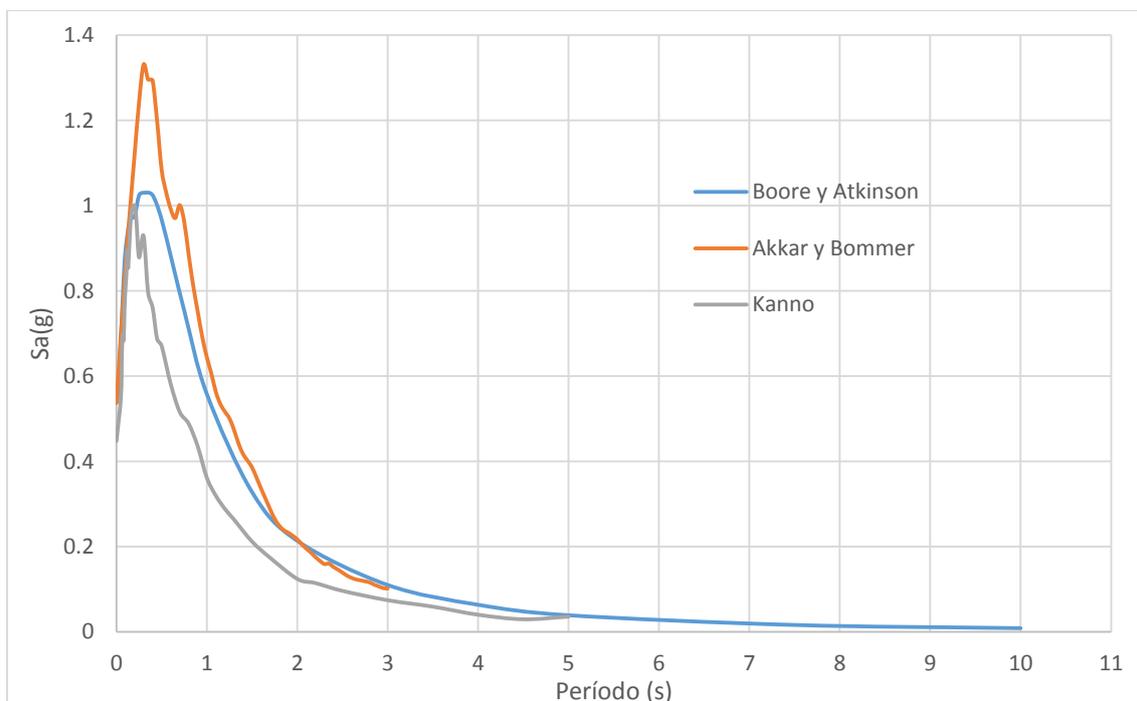
**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.6. Espectro con los modelos para una falla

A continuación se presentan los espectros calculados con las ecuaciones de atenuación para cada una de las fallas seleccionadas para la investigación con cada uno de los modelos presentados anteriormente.

##### 4.2.2.6.1. Espectros para la Falla de Ambato

**Figura 31.-** Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Ambato, Mw = 6.5; Rjb = 0.084Km



**Elaboración:** Sarango Damián

En la figura 31 se puede observar que para la Falla de Ambato el método usado que presenta mayores aceleraciones es el método de Akkar y Bommer.

En la siguiente tabla se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración máxima en los intervalos señalados para la Falla de Ambato.

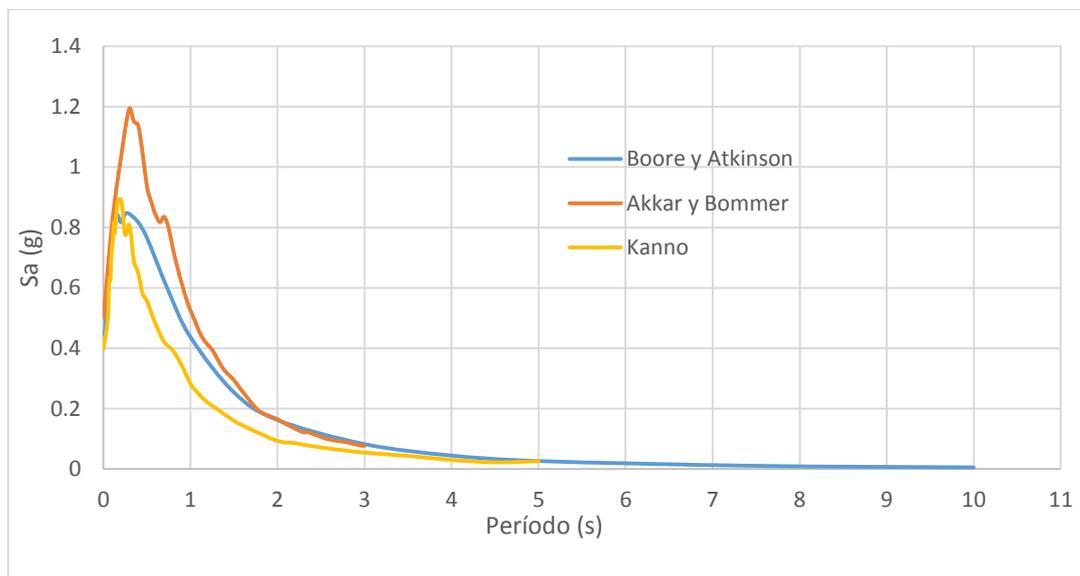
**Tabla 38.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Ambato

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.53756	100%	0.30	1.03039	22.60%
Akkar y Bommer 2010	0.53726	0.06%	0.30	1.33129	100%
Kanno 2006	0.44763	16.73%	0.20	1.00071	24.83%

**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.6.2. Espectros para la Falla de Huachi

**Figura 32.-** Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Huachi, Mw = 6.3; Rjb = 1.20 Km



**Elaboración:** Sarango Damián

El método de Akkar y Bommer es el que presenta mayores aceleraciones en el eje de las ordenadas para la Falla de Huachi.

En la siguiente tabla se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración máxima en los intervalos señalados para la Falla de Huachi

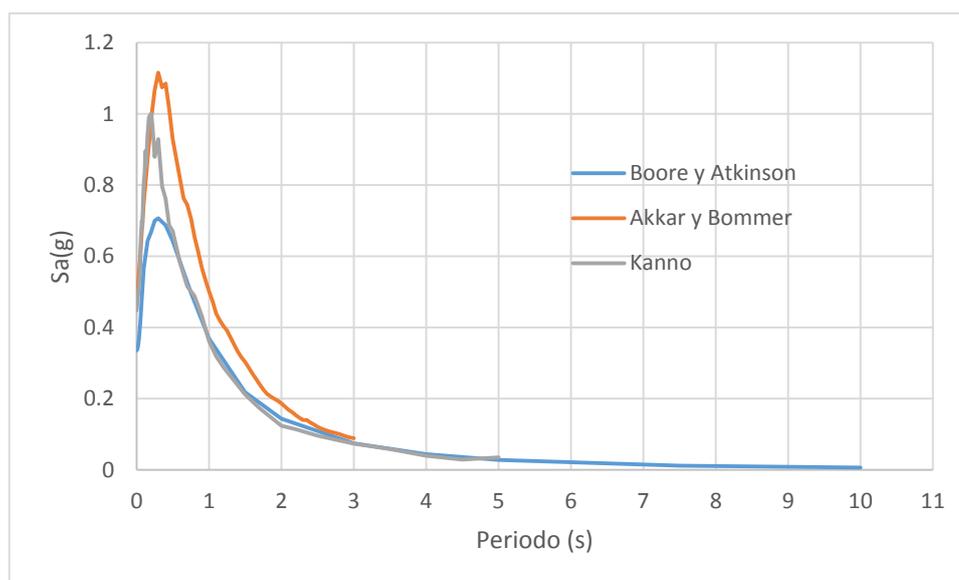
**Tabla 39.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Huachi

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.44588	10.99%	0.25	0.84558	29.22%
Akkar y Bommer 2010	0.50093	100%	0.30	1.19464	100%
Kanno 2006	0.39640	20.87%	0.20	0.89255	25.29%

**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.6.3. Espectros para la Falla de Totoras

**Figura 33.-** Espectro de Boore y Atkinson; Akkar y Bommer; Kanno para la Falla de Totoras, Mw = 6.5; Rjb = 4.23 Km



**Elaboración:** Sarango Damián

Para la Falla de Totoras el método que presenta mayores aceleraciones en el eje de las ordenadas es el método de Akkar y Bommer.

En la siguiente tabla se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración máxima en los intervalos señalados para la Falla de Totoras

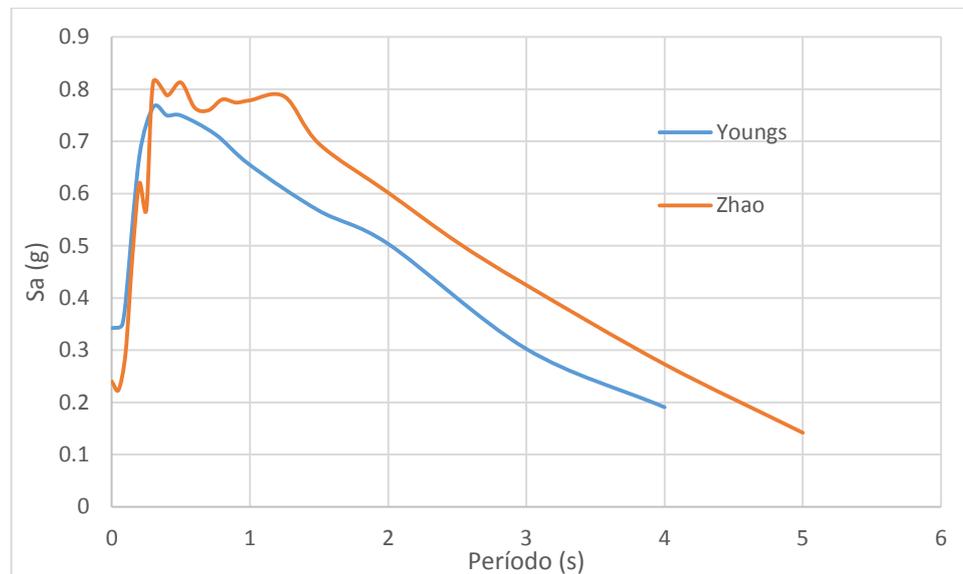
**Tabla 40.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Totoras

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.33577	28.14%	0.30	0.70714	36.62%
Akkar y Bommer 2010	0.46727	100%	0.30	1.11571	100%
Kanno 2006	0.44763	4.20%	0.20	1.00071	10.31%

**Fuente.-** Damián Sarango

#### 4.2.2.6.4. Espectros para la Falla de Subducción

**Figura 34.-** Espectro de Youngs; Zhao para la Falla de Subducción, Mw = 9.3; Rjb = 306.65 Km



**Elaboración:** Sarango Damián

Para la falla de Subducción el método que presenta mayor respuesta de espectro de aceleración es el de Zhao.

En la siguiente tabla se especifica los valores y porcentajes para PGA y valores de aceleración máxima en los intervalos señalados para la Falla de Subducción

**Tabla 41.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Subducción

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg		T = 0.30 seg	
Youngs 1997	0.34223	100%	0.76567	5.87%
Zhao 2006	0.24033	29.78%	0.8134	100%

Fuente.- Damián Sarango

#### 4.2.2.7. Espectro de la NEC 2015

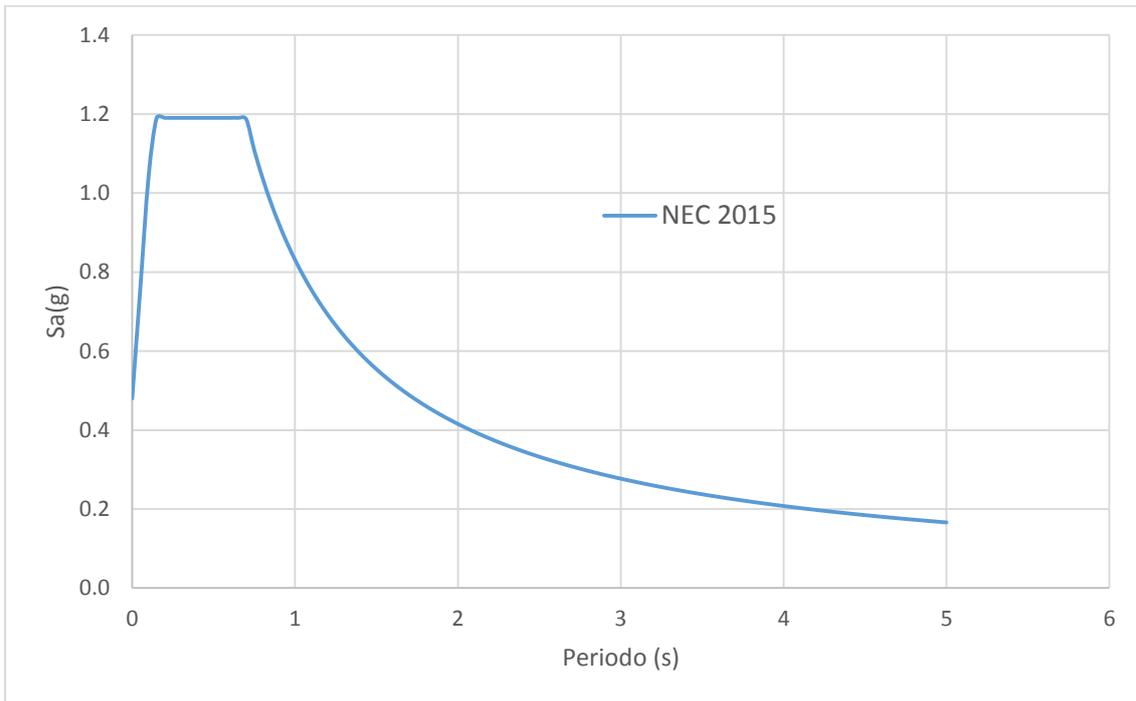
El espectro que presenta la NEC será comparado con los espectros calculados en la investigación según la falla; el espectro de la NEC será calculado para Ambato con un suelo tipo D.

**Tabla 42.-** Factores para el espectro de la NEC 2015

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA	VALOR
Zona Sísmica Z	Zona V (Alta)	0,4
Coefficiente de Importancia	Otras estructuras	1
Factor de reducción de resistencia sísmica R	Pórticos especiales con vigas descolgadas	8
Coefficiente de perfil de suelo	D	50 > N <sub>spt</sub> > 15 360m/s > V <sub>s</sub> > 180m/s
F <sub>a</sub>		1,2
F <sub>d</sub>		1,19
F <sub>s</sub>		1,28
Amplificación espectral η	Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos	2,48
Coefficiente del tipo de edificio C <sub>t</sub>	Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055
α		0,9
Factor dependiente del tipo de suelo r	para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E	1

Fuente.- Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015

**Figura 35.-** Espectro Elástico NEC 2015

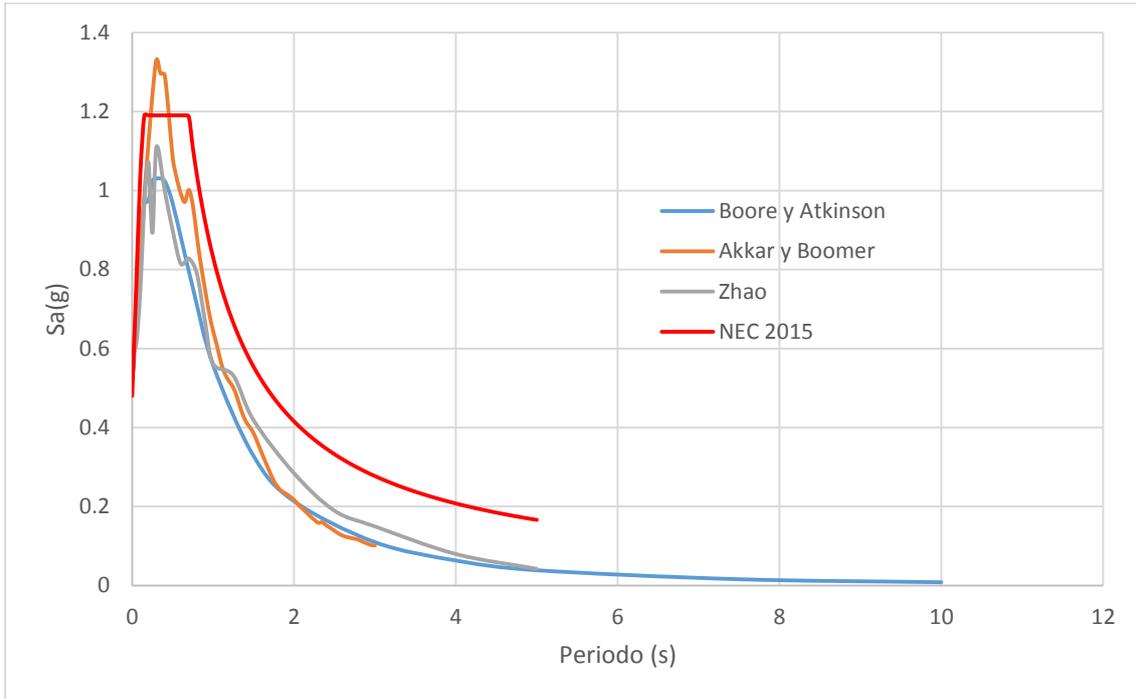


**Elaboración:** Sarango Damián

#### 4.2.2.8. Comparación entre los espectros de las principales fallas y la NEC 2015

##### 4.2.2.8.1. Espectros para la Falla de Ambato comparado con la NEC 2015

**Figura 36.-** Espectro de la Falla de Ambato,  $M_w = 6.5$ ;  $R_{jb} = 0.084\text{Km}$  comparado con la NEC 2015



**Elaboración:** Sarango Damián

El espectro generado por el método de Akkar y Bommer presenta mayores aceleraciones que superan al espectro presentado por la NEC 2015 en los primeros segundos de 0.25 segundos a 0.40 segundos; en el período restante los espectros obtenidos con los métodos no sobrepasan la NEC 2015.

**Tabla 43.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Ambato

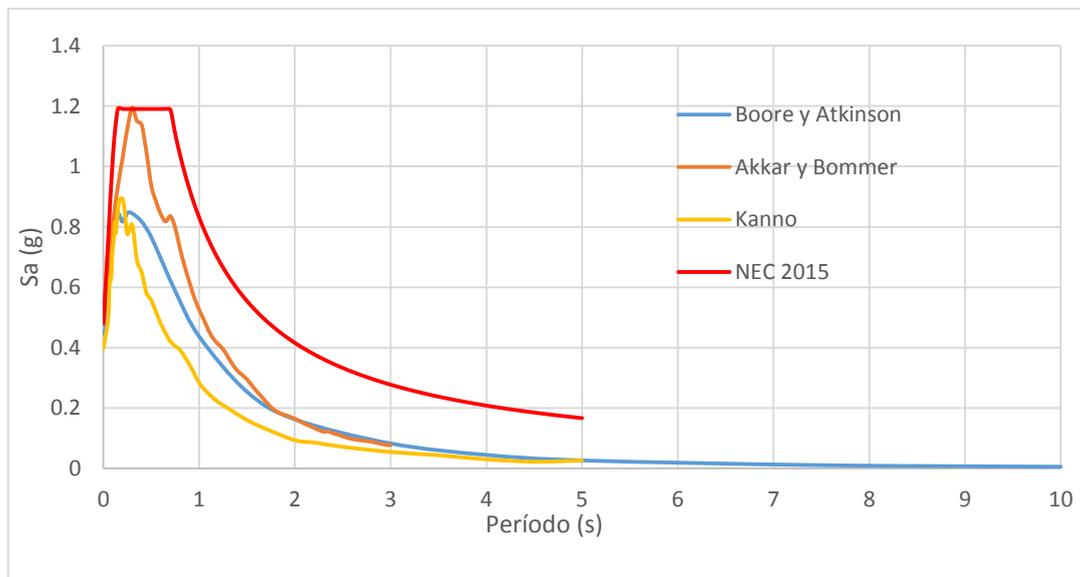
Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.53756	+11.99%	0.30	1.03039	13.44%
Akkar y Bommer 2010	0.53726	+11.93%	0.30	1.33129	+11.84%
Kanno 2006	0.44763	6.74%	0.20	1.00071	15.94%
NEC 2015	0.48	100%	0.30 – 0.65	1.19040	100%

**Fuente.-** Damián Sarango

Las aceleraciones producidas por la Normativa y las calculadas por cada una de los distintos modelos cabe destacar que las aceleraciones obtenidas mediante el método de Akkar & Bommer 2010 excede en 11.84% al valor de aceleración presentado por la NEC 2015 de 1.1904g, también presentan mayores valores de PGA los modelos de Boore & Atkinson y Akkar & Bommer con 11.93%, porcentaje que sobrepasan al valor de 0.48g presentado por la NEC 2015.

#### 4.2.2.8.2. Espectros para la Falla de Huachi comparado con la NEC 2015

**Figura 37.-** Espectro de la Falla de Huachi,  $M_w = 6.3$ ;  $R_{jb} = 1.2\text{Km}$  comparado con la NEC 2015



**Elaboración:** Sarango Damián

El espectro obtenido mediante el método de Akkar y Bommer sobrepasa únicamente al espectro de la NEC 2015 en un corto intervalo del período en 0.30 segundos, mientras que los otros métodos presentan menores aceleraciones al de la norma.

**Tabla 44.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Huachi

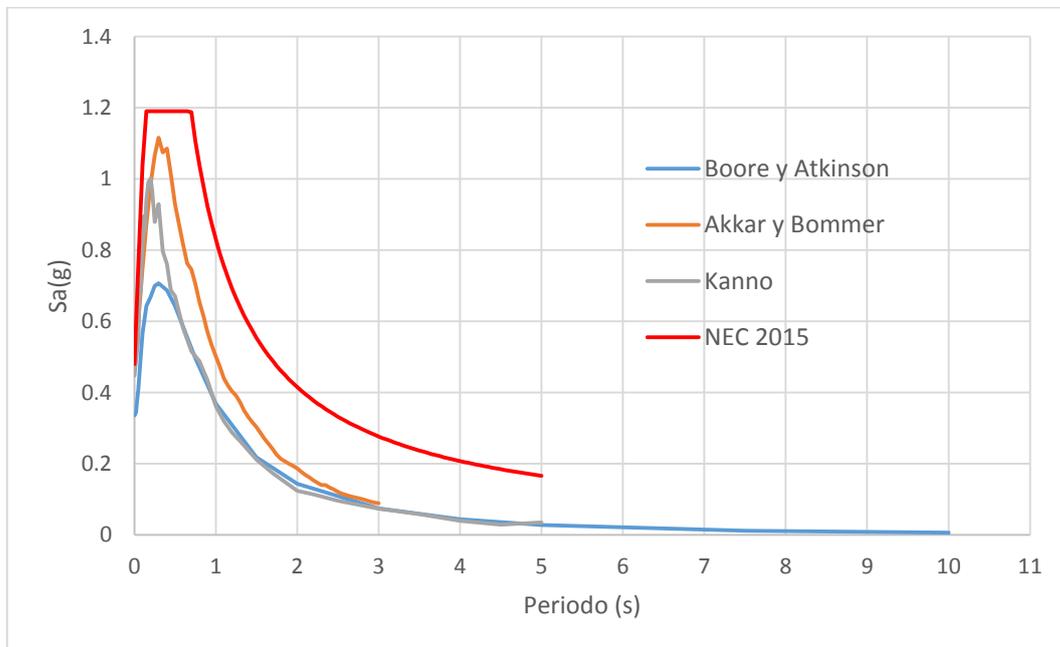
Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.44588	7.11%	0.25	0.84558	28.97%
Akkar y Bommer 2010	0.50093	+4.36%	0.30	1.19464	+0.36%
Kanno 2006	0.39640	17.42%	0.20	0.89255	25.02%
NEC 2015	0.48	100%	0.30 – 0.65	1.19040	100%

**Fuente.-** Damián Sarango

En la tabla anterior se aprecia que el PGA producido por el modelo de Akkar y Bommer sobrepasa a la normativa en 4.36%, además de presentar una mayor aceleración superando a la normativa por 0.36% en período de 0.30segundos.

#### 4.2.2.8.3. Espectros para la Falla de Totoras comparado con la NEC 2015

**Figura 38.-** Espectro de la Falla de Totoras, Mw = 6.5; Rjb = 4.23Km comparado con la NEC 2015



**Elaboración:** Sarango Damián

En la figura anterior se puede observar que las aceleraciones del espectro de la NEC 2015 no son superadas por ningún espectro producido por los modelos para la Falla de Totoras.

**Tabla 45.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados de diferentes ecuaciones para la Falla Totoras

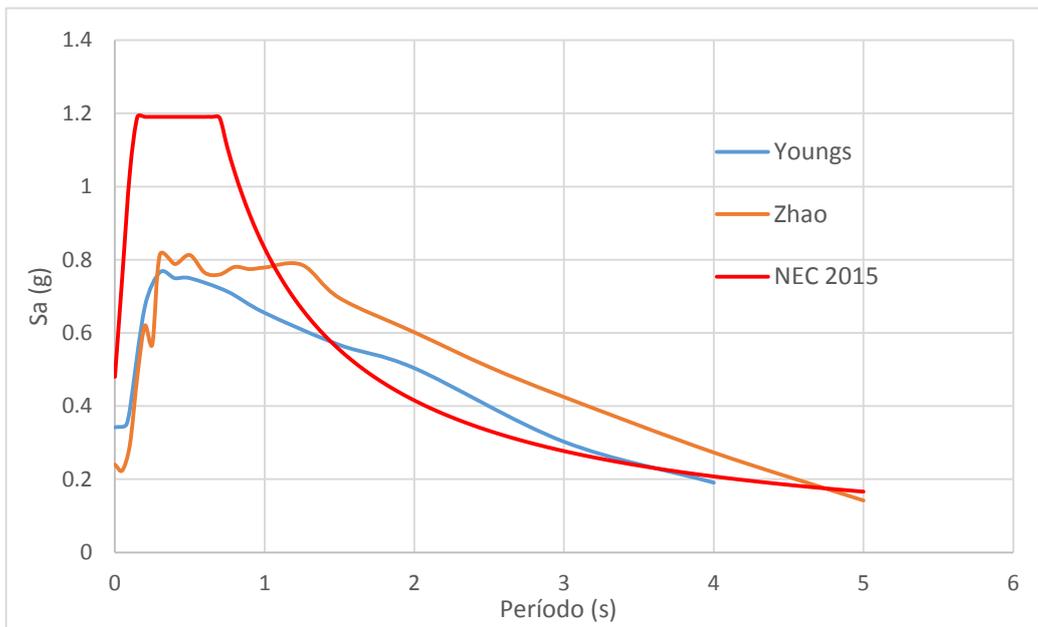
Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Boore & Atkinson 2008	0.33577	30.05%	0.30	0.70714	40.60%
Akkar y Bommer 2010	0.46727	2.65%	0.30	1.11571	6.27%
Kanno 2006	0.44763	6.74%	0.20	1.00071	15.94%
NEC 2015	0.48	100%	0.30 – 0.65	1.19040	100%

**Fuente.-** Damián Sarango

Mediante la tabla 45 se puede apreciar que las aceleraciones producidas por los modelos para la falla de Totoras no sobrepasan a las aceleraciones presentadas por la NEC 2015.

#### 4.2.2.8.4. Espectros para la Falla de Subducción comparado con la NEC 2015

**Figura 39.-** Espectro de la Falla de Subducción,  $M_w = 9.3$ ;  $R_{jb} = 306.65\text{Km}$  comparado con la NEC 2015



**Elaboración:** Sarango Damián

En la figura 39 se puede observar que las aceleraciones de los espectros para la Falla de Subducción es menor para periodos cortos; pero presentan mayores aceleraciones en periodos largos, siendo la metodología propuesta por Zhao la que supera mayormente a la norma.

**Tabla 46.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en periodos indicados de diferentes ecuaciones para la Subducción

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx.)	Sa (g) % (Máx.)
	T = 0 seg				
Youngs 1997	0.34223	28.70%	0.30	0.76567	35.68%
Zhao 2006	0.24033	49.93%	0.30	0.8134	31.67%
NEC 2015	0.48	100%	0.30 – 0.65	1.1904	100%

**Fuente.-** Damián Sarango

Los valores de PGA y aceleraciones máximas de los modelos para la falla de Subducción son menores a los establecidos en la NEC 2015; sin embargo cabe recalcar que para periodos largos las aceleraciones generadas por el modelo de Zhao superan a la normativa en los periodos de 1,06 segundos a 4,75 segundos

Posteriormente se procede a tabular los resultados obtenidos tanto los PGA y las aceleraciones, las cuales se presentan a continuación:

**Tabla 47.-** Relación entre valores de PGA comparados con la NEC 2015

FALLA	MÉTODO	PGA (T=0seg)	PGA (%)
	NEC 2015	0.48	100%
Falla de Ambato	Akkar & Bommer 2010	0.53726	+11.93%
	Boore & Atkinson 2008	0.53756	+11.99%
	Kanno 2006	0.44763	6.74%
Falla de Huachi	Akkar & Bommer 2010	0.50093	+4.36%
	Boore & Atkinson 2008	0.44588	7.11%
	Kanno 2006	0.39640	17.42%
Falla de Totoras	Akkar & Bommer 2010	0.46727	2.65%
	Kanno 2006	0.44763	6.74%
	Boore & Atkinson 2008	0.33577	30.05%
Falla de Subducción	Youngs 1997	0.34223	28.70%
	Zhao 2006	0.24033	49.93%

**Fuente.-** Damián Sarango

De la tabla anterior cabe destacar que los PGA obtenidos en la falla de Ambato mediante el método de Akkar & Bommer excede en 11.93% al valor de aceleración presentado por la NEC 2015 y el método de Boore & Atkinson excede en 11.99% a la normativa, también en la falla de Huachi el PGA obtenido con el método de Akkar & Bommer excede a la norma en 4.36%; mientras que el resto de métodos y fallas obtuvieron valores menores de PGA que el presentado por la NEC 2015.

**Tabla 48.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración comparados con la NEC 2015

FALLA	MÉTODO	T (seg)	Sa (g) Máx	Sa(g) %
NEC 2015		0.30 - 0.65	1.19040	100%
Falla de Ambato	Akkar & Bommer 2010	0.30	1.33129	+11.84%
	Boore & Atkinson 2008	0.30	1.03039	13.44%
	Kanno 2006	0.20	1.00071	15.94%
Falla de Huachi	Akkar & Bommer 2010	0.30	1.19464	+0.36%
	Kanno 2006	0.20	0.89255	25.02%
	Boore & Atkinson 2008	0.25	0.84558	28.97%
Falla de Totoras	Akkar & Bommer 2010	0.30	1.11571	6.27%
	Kanno 2006	0.20	1.00071	15.94%
	Boore & Atkinson 2008	0.30	0.70714	40.60%
Falla de Subducción	Zhao 2006	0.30	0.81340	31.67%
	Youngs 1997	0.30	0.76567	35.68%

**Fuente.-** Damián Sarango

De la tabla 48 se puede recalcar que la aceleración máxima de la NEC 2015 se ve superada en un 11.84% por las aceleraciones producidas por el modelo de Akkar & Bommer de la Falla de Ambato, también se ve superada en un 0.36% por el modelo de Akkar y Bommer de la falla de Huachi; mientras que para los modelos y fallas restantes las aceleraciones obtenidas son menores que las presentadas por la NEC 2015.

**Tabla 49.-** Períodos en que se presentan las aceleraciones máximas

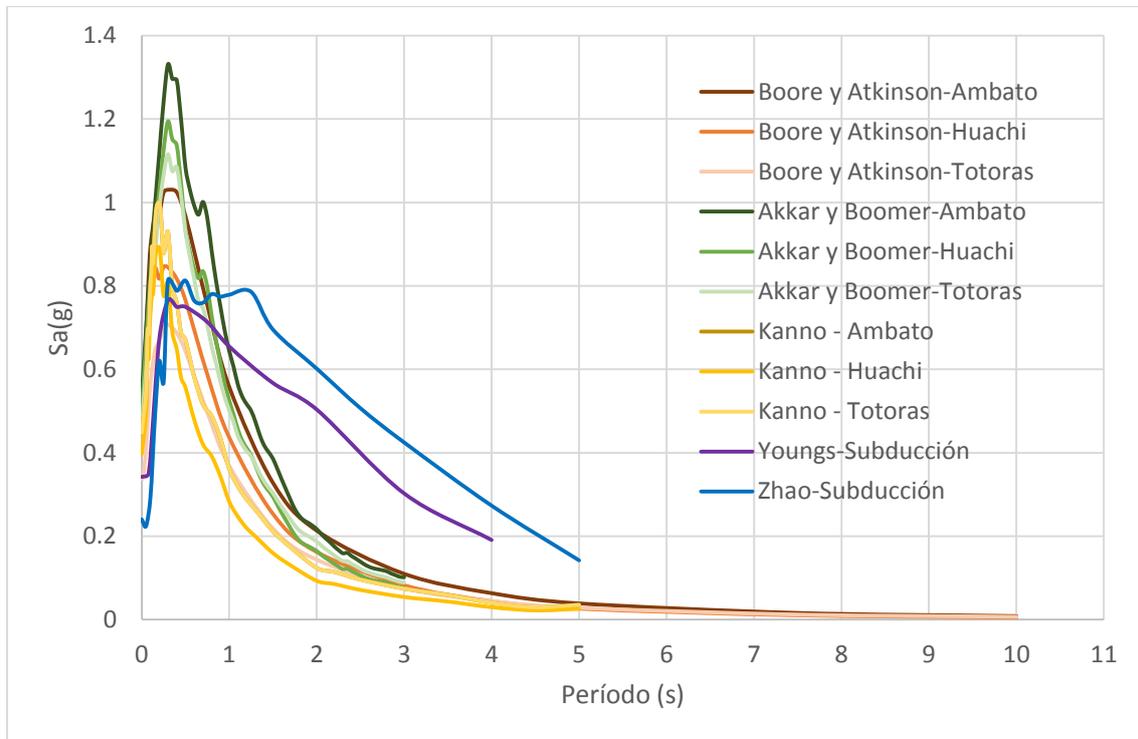
<b>PERÍODO</b>	<b>FALLA</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
0.30	Falla de Ambato	Akkar & Bommer 2010 Boore & Atkinson 2008	63.64%
	Falla de Huachi	Akkar & Bommer 2010	
	Falla de Totoras	Akkar & Bommer 2010 Boore & Atkinson 2008	
	Falla de Subducción	Zhao 2006 Youngs 1997	
0.25	Falla de Huachi	Boore & Atkinson 2008	9.09%
0.20	Falla de Ambato	Kanno 2006	27.27%
	Falla de Huachi	Kanno 2006	
	Falla de Totoras	Kanno 2006	

**Fuente.-** Damián Sarango

En la tabla anterior se aprecia los periodos en donde ocurre la aceleración máxima para cada una de las fallas con su respectivo modelo, cabe destacar que un 63,64% de los resultados obtenidos la aceleración máxima se dio a los 0,30 segundos, lo cual nos permite determinar la vulnerabilidad de las estructuras de 3 pisos en el área de estudio, además se obtuvo un porcentaje de 27.27% en el período de 0.20 segundos y 9.09% en el período de 0.25 segundos, recalcando la vulnerabilidad de estructuras de 2 pisos.

#### 4.2.2.9. Espectros de todos los modelos

Figura 40.- Todos los espectros



Elaboración.- Sarango Damián

En la figura se puede apreciar todos los espectros obtenidos en la investigación; pudiendo destacar que los métodos más críticos son: Akkar y Bommer para la falla de Ambato para periodos cortos, mientras que para períodos largos el método de Zhao de la falla de Subducción presenta mayores aceleraciones.

#### 4.2.2.10. Espectro determinista comparado con la NEC 2015

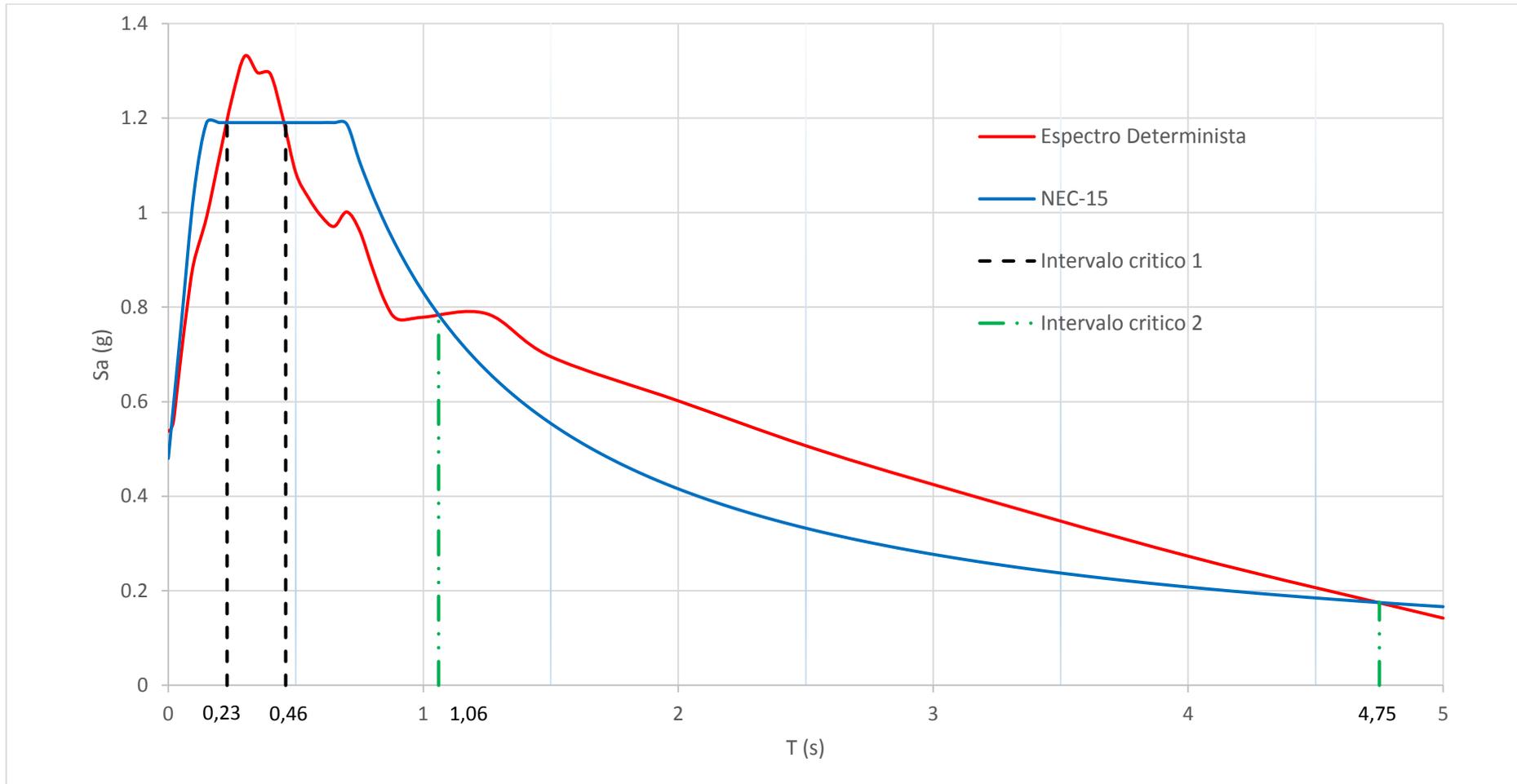
En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos para la envolvente del espectro de aceleración de la zona.

**Tabla 50.-** Valores para el espectro de aceleración crítica

<b>T (seg)</b>	<b>Sa (g)</b>
0	0.5375552
0.01	0.5420894
0.02	0.558319
0.03	0.6034911
0.05	0.6980532
0.075	0.8056653
0.1	0.8946264
0.15	0.9906476
0.2	1.117495
0.25	1.2424032
0.3	1.3312899
0.35	1.2961499
0.4	1.2936912
0.45	1.1982077
0.5	1.0841988
0.55	1.0313178
0.6	0.9924635
0.65	0.9707891
0.7	1.0013811
0.75	0.9622067
0.8	0.8832569
0.85	0.8114808
0.9	0.7743663
1	0.7786933
1.25	0.7858351
1.5	0.6953283
2	0.601783
2.5	0.5068311
3	0.4247707
4	0.273163
5	0.1420375

**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 41.-** Espectro crítico comparado con la NEC-2015



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura 41 se presenta el espectro determinista obtenido mediante este estudio junto con el espectro de la NEC 2015, en la cual se puede apreciar lo siguiente: El espectro determinista supera al espectro de la NEC en dos intervalos; el primero que va en el período de 0,23seg a 0,46seg, y el segundo intervalo inicia en 1,06seg y termina en 4,75seg, el resto intervalos se aprecia que el espectro de la NEC presenta mayores aceleraciones de las generadas por el espectro determinista.

**Tabla 51.-** Relación entre valores y porcentajes máximos de aceleración en períodos indicados entre la NEC 2015 y el espectro Determinista

Ecuación de Atenuación	PGA	PGA (%)	T (seg)	Sa (g) (Máx)	Sa (g) % (Máx)
	T = 0 seg				
Determinista	0.53756	11.99%	0.30	1.33129	11.84%
NEC 2015	0.48	100%	0.30 - 1.30	1.1904	100%

**Fuente.-** Damián Sarango

En la tabla anterior se puede destacar que el PGA del espectro Determinista supera al provisto por la normativa en un 11.99%, además de que la aceleración máxima del espectro determinista también supera a la norma en un 11.84% para períodos cortos, cabe señalar que para períodos largos las aceleraciones de la normativa se ven nuevamente superadas por el espectro Determinista en el período de 1,06 segundos a 4,75 segundos.

#### 4.2.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Una vez analizado los espectros, determinista y el propuesto por la NEC 2015; y teniendo en cuenta que el espectro determinista presenta mayores aceleraciones que el espectro de la NEC 2015 durante cierto intervalos de tiempo se va a evaluar el desempeño estructural de tres estructuras del área de estudio al suscitarse un evento telúrico, tomando en cuenta las propiedades más representativas; (altura de la edificación, altura de entresijos, secciones de columnas y vigas, rigideces, cantidad y longitud de vanos, entre otros), con la finalidad de poner analizar la demanda con distintos períodos de vibración que impone el espectro determinista y el NEC 2015.

### 4.2.3.1. Estructura de 3 pisos

#### 4.2.3.1.1. Características de la edificación

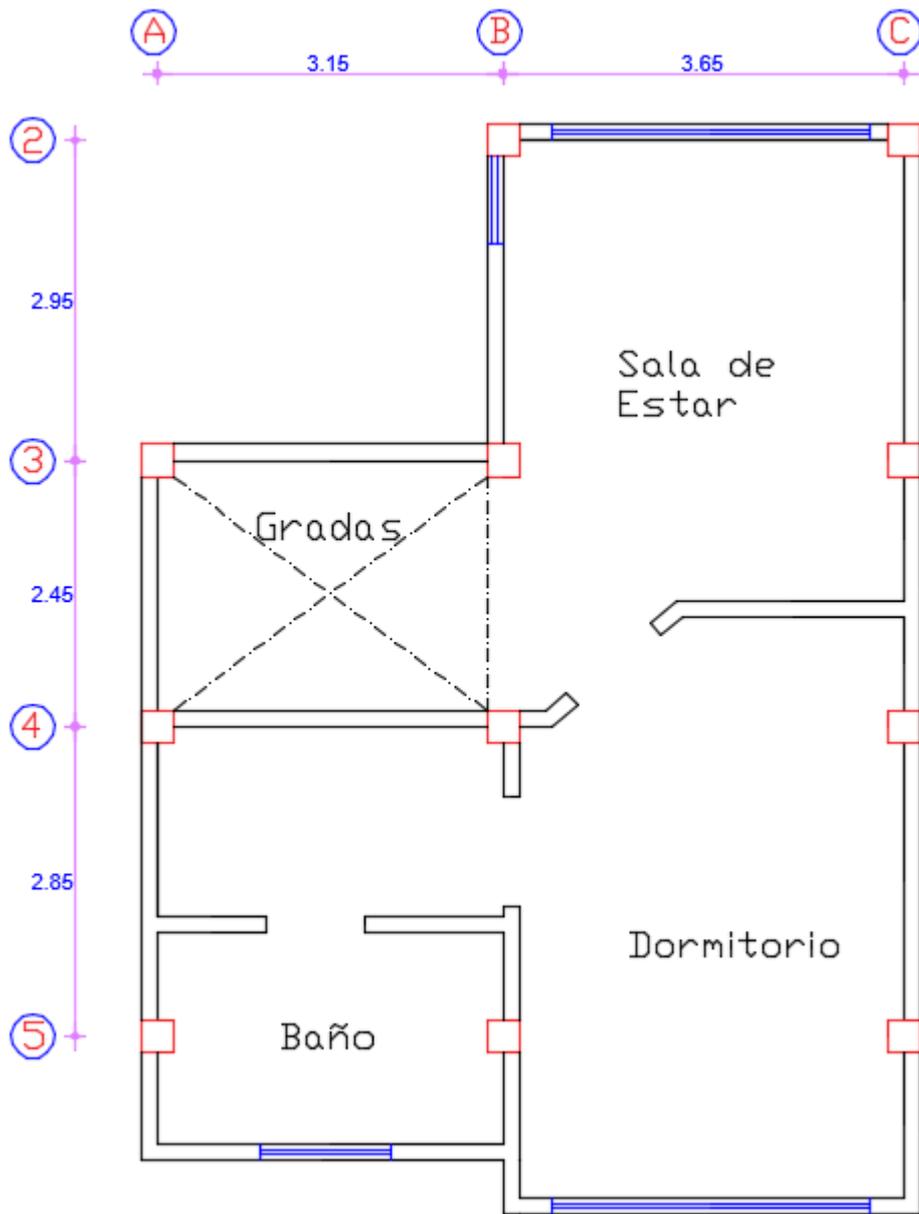
La vivienda seleccionada es de 3 niveles, pues este tipo de edificaciones son las que mayormente se encuentran en el área de estudio, pues se puede observar la influencia del espectro determinista es estructuras de períodos cortos.

**Tabla 52.-** Características estructurales de la edificación

<b>Indicador</b>	<b>Característica</b>
Sistema resistente a carga lateral	Pórtico de hormigón armado
Distribución geométrica en planta	Irregular
Distribución geométrica en elevación	Regular
Altura de entrepiso	2,70 m
Resistencia del concreto	$f_c=240 \text{ kg/cm}^2$
Límite de fluencia del acero	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Sección de columnas	30cm x 30cm
Recubrimiento en columnas	3cm
Sección de vigas	30cm x 30cm
Recubrimiento en vigas	3cm
Tipo de losa	Nervada
Espesor de losa	20 cm
Ancho de nervios	10 cm

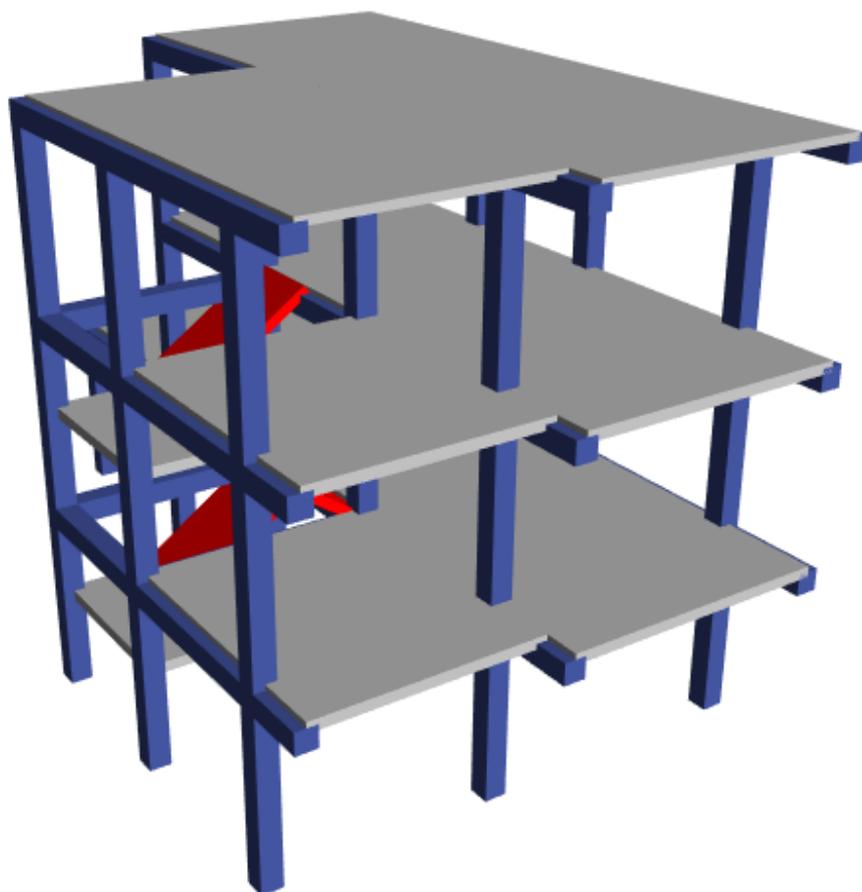
**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 42.-** Plano arquitectónico



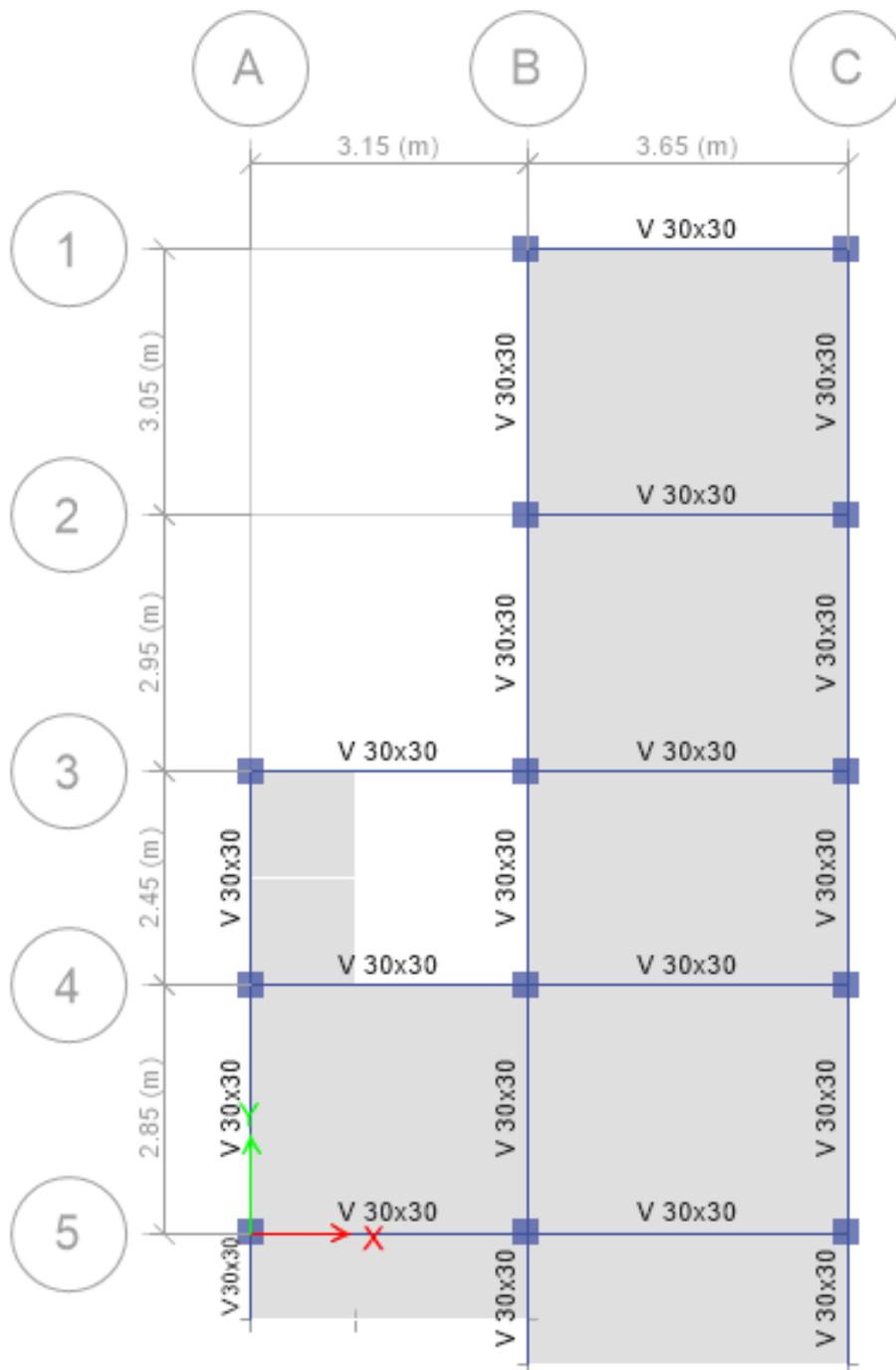
**Fuente.-** Damián Sarango

**Figura 43.-** Modelado estructural de la edificación



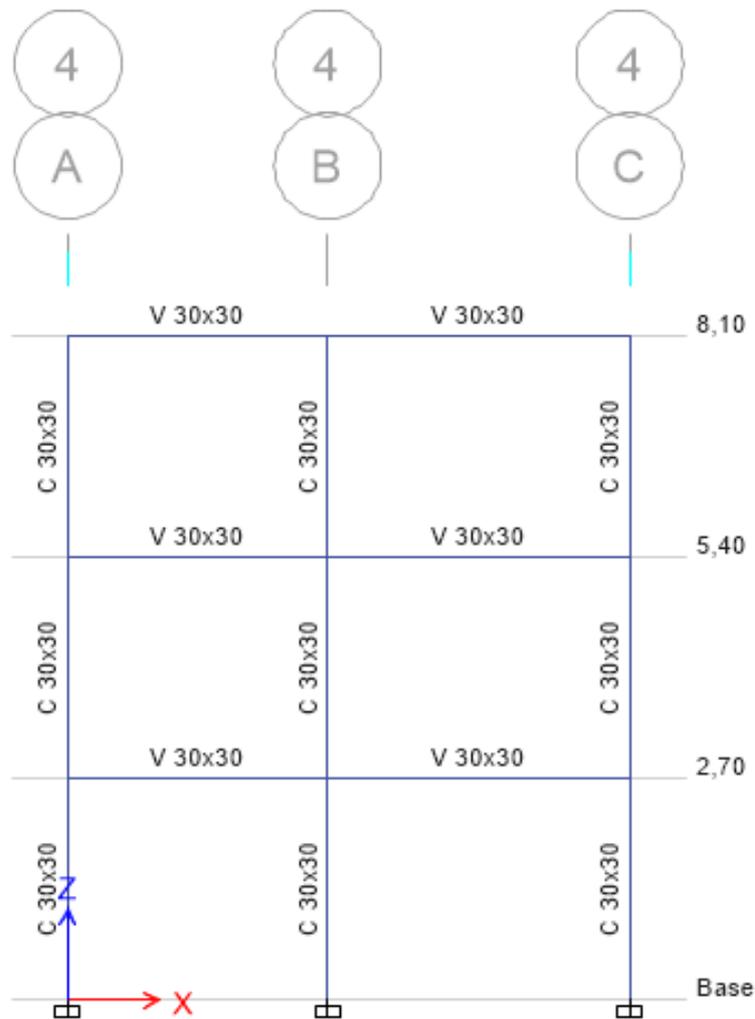
**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 44.-** Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,70m



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 45.-** Vista en elevación de la edificación



**Fuente.-** ETABS 2016

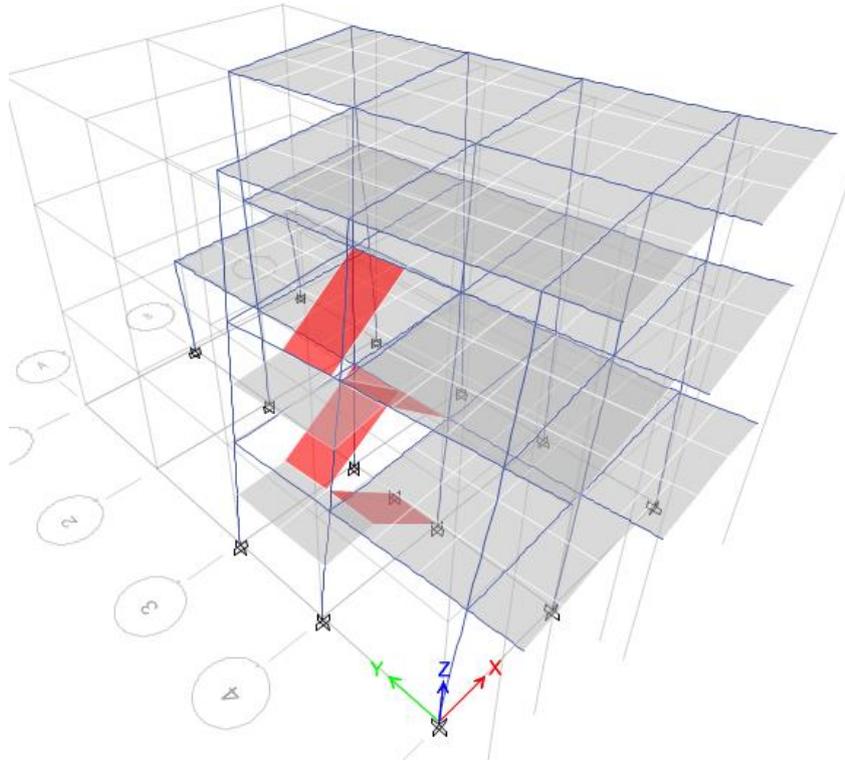
### **Análisis de lineal de la edificación**

#### **4.2.3.1.2. Determinación del período de vibración fundamental**

En el modelado de ETABS 2016 se obtuvo un período de vibración fundamental de  $T_a=0,38\text{seg}$ , con el que se obtendrá parámetros para el análisis de cortante basal.

**Figura 46.-** Período de vibración fundamental

3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 1 - Period 0.382



**Fuente.-** ETABS 2016

#### 4.2.3.1.3. Determinación de los modos de vibración

Según estudios realizados por Placencia 2015, los efectos de torsión accidental indican de gran manera en la estructura, cuando al relacionar el porcentaje de participación modal de la masa en rotación  $Rz$  y el porcentaje de masa predominante en traslación  $Ux, Uy$  son mayores al 30%, pues los elementos como columnas y muros apartados del centro de torsión pueden fallar de forma frágil. [36]

La verificación se realizara en los primeros tres modos de vibración, de los cuales los dos primeros modos deben ser traslacionales y el tercer modo debe ser torsional. [36]

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Traslacional}$$

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Torsional}$$

**Tabla 53.-** Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración

<b>Modo</b>	<b>Rz</b>	<b>Ux o Uy</b>	<b>% Torsión</b>	<b>Comportamiento</b>
1	0.331	0.4347	76.14%	Torsional
2	0.086	0.3091	27.82%	Traslacional
3	0.3283	0.3648	89.99%	Torsional

**Fuente.-** ETABS 2016

De la tabla anterior se puede apreciar que el primer modo de vibración es mayor al 30%, entonces tiene un comportamiento Torsional por lo que esta estructura presenta efectos torsionales significativos que pueden afectar a la estructura, en el modo 2 presenta un porcentaje del 27,82% presentado un comportamiento traslacional.

#### 4.2.3.1.4. Cortante Basal Estático

Fuerza total de diseño por cargas laterales aplicada en la base de la estructura resultado de la acción de un sismo. La Norma Ecuatoriana de la Construcción nos da a conocer la siguiente formula: [6]

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset p * \emptyset e} * W$$

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset p * \emptyset e}$$

Pudiendo decir que el cortante basal quedaría de la siguiente formula:

$$V = CB * W$$

Donde:

**Sa (Ta).**- Espectro de diseño en aceleración

**∅p.**- Coeficiente de configuración en planta

**∅e.**- Coeficiente de configuración en elevación

**I.**- Coeficiente de Importancia

**R.-** Factor de reducción de resistencia sísmica

**V.-** Cortante basal total de diseño

**W.-** Carga sísmica reactiva

**Ta.-** Período de vibración

**CB.-** Coeficiente basal

La carga sísmica  $W$  representa la carga reactiva por sismo, donde  $W$  representa la carga muerta total de la estructura y el coeficiente basal  $CB$  será calculado para cada uno de los espectros. En la tabla 54 se muestran los valores ligados para el cálculo del coeficiente basal. [6]

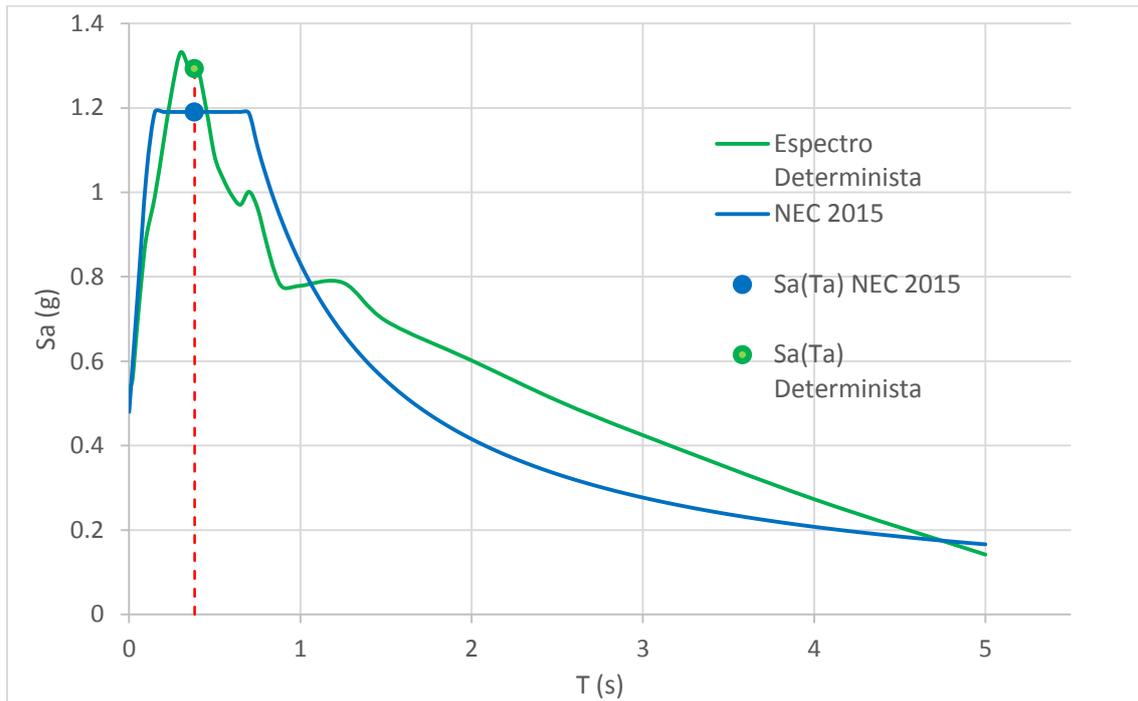
**Tabla 54.-** Variables para el cálculo del coeficiente basal

<b>COEFICIENTE</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>VALOR</b>
I (Coeficiente de Importancia)	Otras estructuras	1
R (Factor de reducción de resistencia sísmica)	Pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
$\phi_p$ (Coeficiente de configuración en planta)	Irregular	0.9
$\phi_e$ (Coeficiente de configuración en elevación)	Regular	1

**Fuente.-** NEC 2015

Para determinar la aceleración con la que el espectro tanto de la NEC 2015 como determinista demanda a la estructura utilizaremos la siguiente gráfica, junto con el valor del período de vibración de la estructura.

**Figura 47.-** Determinación de Sa(Ta)



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura 47 se puede observar que la aceleración espectral Sa(Ta) es de 1,1904g para el espectro de la NEC 2015 y 1,293g para el espectro Determinista, los mismos que servirán para el cálculo del coeficiente basal.

#### **Coefficiente Basal espectro NEC 2015**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,1904}{8 * 0,9 * 1}$$

$$CB = 0,1653$$

### Coefficiente Basal espectro Determinista

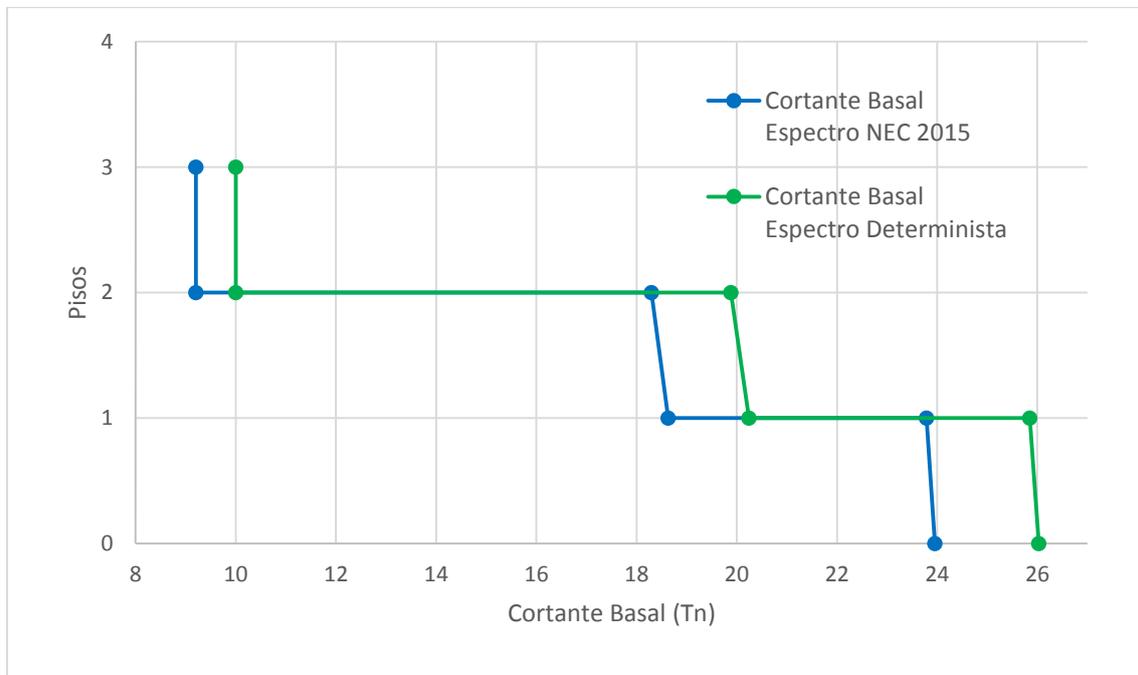
$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,293}{8 * 0,9 * 1}$$

$$CB = 0,1796$$

Mediante el coeficiente basal se podrá obtener valores de cortante que se aplican en la base de la estructura con su respectiva distribución en elevación.

**Figura 48.-** Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura 48 se puede observar que la distribución de cortante basal de la estructura es de 23,95Tn para el espectro de la NEC 2015 y 26,03Tn para el espectro Determinista en sus dos direcciones principales; la diferencia de valores se debe al aumento de aceleraciones que presenta el espectro Determinista para estructuras con períodos de vibración entre 0,23seg y 0,46seg; como la estructura presenta un período de vibración fundamental de 0,382 segundos la aceleración espectral provocada por el espectro Determinista genera mayores sollicitaciones de cortante basal que las generadas por el espectro de la NEC 2015.

#### 4.2.3.1.5. Cortante Basal Dinámico

Cabe señalar que la Norma Ecuatoriana de la Construcción nos da a conocer que se deben considerar todos los modos de vibración que involucren la participación modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en las direcciones horizontales principales; además de que el cortante dinámico obtenido no debe ser menor que 80% para estructuras regulares y 85% para estructuras irregulares, por lo que se debe realizar un ajuste de valor de cortante basal dinámico. [6]

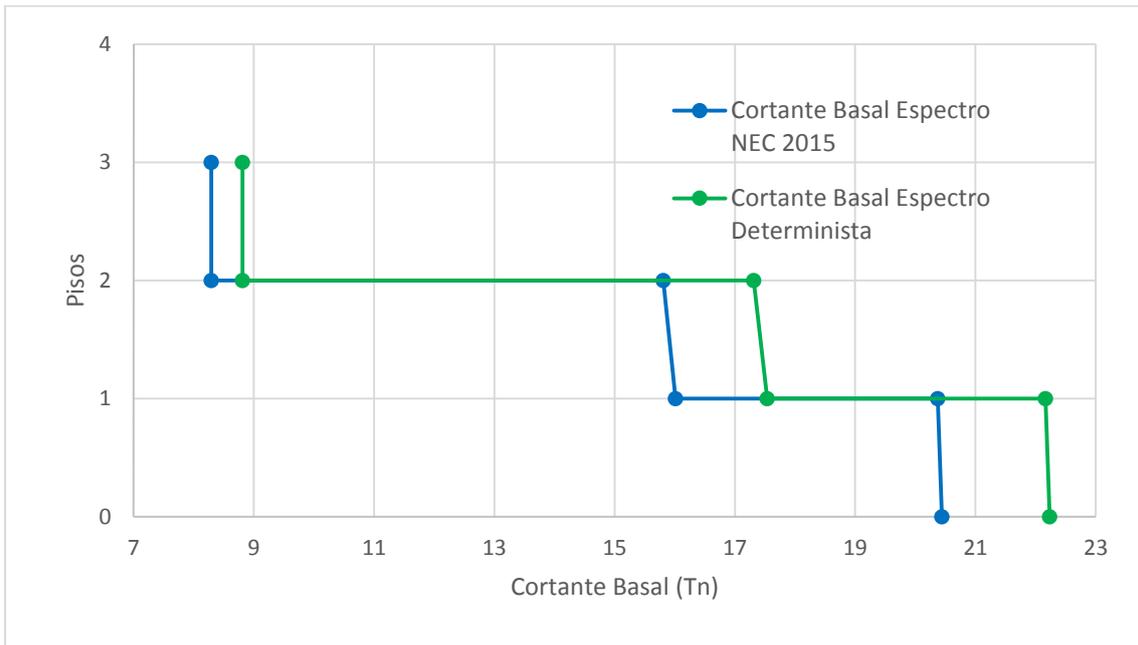
**Tabla 55.-** Porcentaje de participación modal de la masa

Modo de vibración	Período (s)	% de participación de la masa		% de participación de la masa acumulada	
		Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.382	43.47%	12.39%	43.47%	12.39%
2	0.32	36.25%	30.91%	79.72%	43.30%
3	0.249	3.25%	36.48%	82.97%	79.78%
4	0.136	5.70%	1.53%	88.67%	81.31%
5	0.126	6.76%	6.33%	95.42%	87.64%
6	0.110	1.10%	7.92%	96.52%	95.57%
7	0.085	0.78%	1.13%	97.30%	96.70%
8	0.075	2.26%	0.75%	99.56%	97.45%
9	0.063	0.12%	2.15%	99.68%	99.60%

**Fuente.-** ETABS 2016

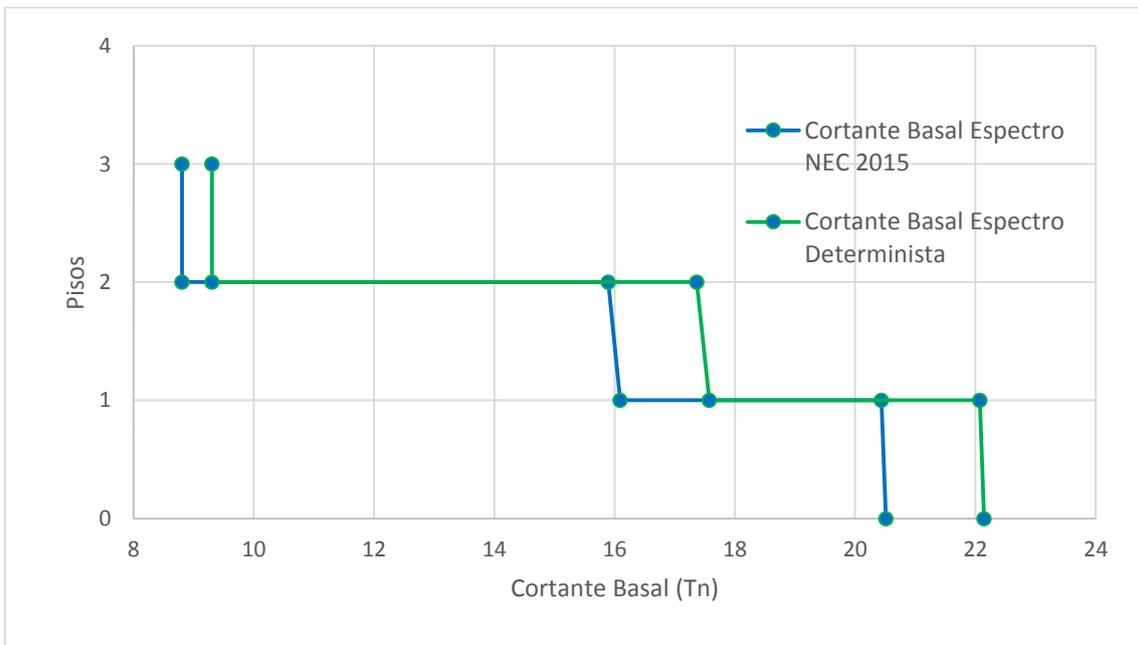
La participación modal de la masa cumple los requisitos de la NEC 2015 pues en el sentido “X” alcanza un porcentaje de acumulación de 95,42% en el quinto modo de vibración y en el sentido “Y” se alcanza un porcentaje de participación modal acumulada mayor al 90% a partir de sexto modo de vibración.

**Figura 49.-** Cortante Basal Dinámico Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 50.-** Cortante Basal Dinámico Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

Se puede apreciar en las figuras 49 y 50 que al igual que en el análisis estático, la distribución de cortante es mayor para el espectro Determinista, tanto para el sentido “X” con 22,23Tn y en el sentido “Y” con 22,14Tn mientras que el espectro NEC genera cortantes de 20,44Tn para el sentido “X” y 20,51Tn para el sentido “Y”; confirmando la superioridad de solicitaciones de cortante producidas por el espectro Determinista.

Con los valores obtenidos en las figuras 46, 47 y 48, se puede realizar la comprobación de los requerimientos para cortante basal establecido en la norma, donde:

$$V_D \geq 80\% V_E \text{ (estructuras regulares)}$$

$$V_D \geq 85\% V_E \text{ (estructuras irregulares)}$$

**Tabla 56.-** Ajuste de Cortante Basal NEC 2015

<b>NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 8,10	8.29	9.20	90.11%	Cumple
Nv + 5,40	8.29	9.20	90.11%	Cumple
Nv + 2,70	16.01	18.63	85.94%	Cumple
Nv + 0,00	20.44	23.95	85.34%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 8,10	8.80	9.20	95.65%	Cumple
Nv + 5,40	8.80	9.20	95.65%	Cumple
Nv + 2,70	16.09	18.63	86.37%	Cumple
Nv + 0,00	20.51	23.95	85.64%	Cumple

**Fuente.-** ETABS 2016

**Tabla 57.- Ajuste de Cortante Basal Determinista**

<b>DETERMINISTA</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 8,10	8.81	9.99	88.19%	Cumple
Nv + 5,40	8.81	9.99	88.19%	Cumple
Nv + 2,70	17.54	20.25	86.62%	Cumple
Nv + 0,00	22.23	26.03	85.40%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 8,10	9.30	9.99	93.09%	Cumple
Nv + 5,40	9.30	9.99	93.09%	Cumple
Nv + 2,70	17.58	20.25	86.81%	Cumple
Nv + 0,00	22.14	26.03	85.06%	Cumple

**Fuente.- ETABS 2016**

En las tablas 56 y 57 se puede apreciar que se cumple lo señalado por la norma tanto para el espectro de la NEC 2015 y el espectro Determinista; en el sentido “X” y sentido en el “Y”

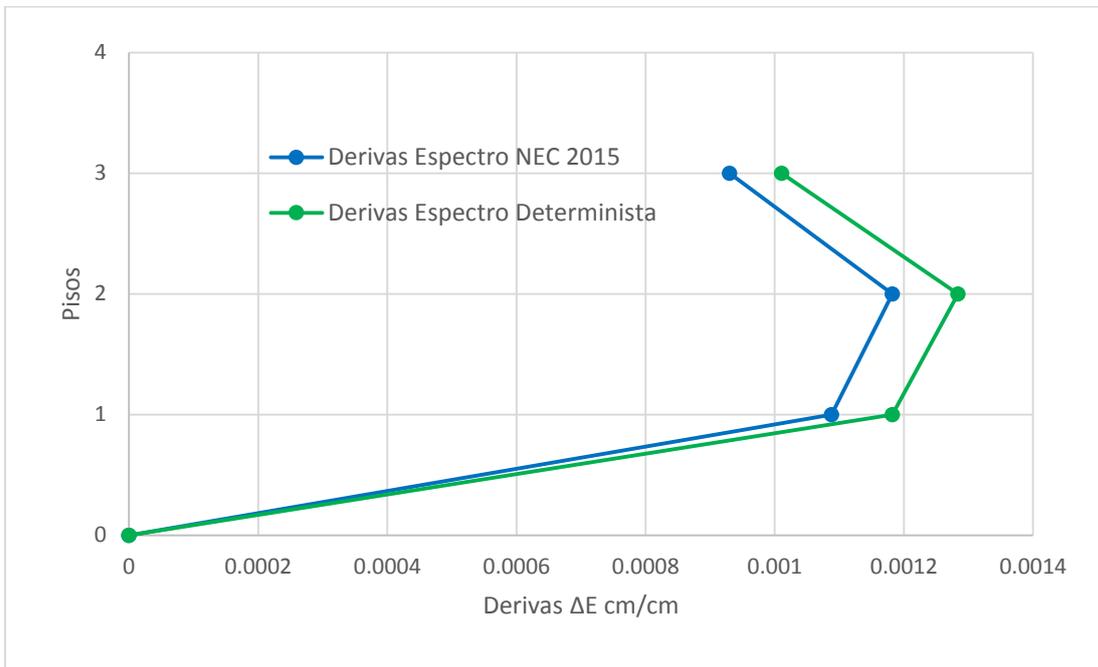
#### **4.2.3.1.6. Análisis de Derivas**

La Norma nos da a conocer deriva como el desplazamiento lateral relativo de dos pisos consecutivos por la acción de una fuerza horizontal, el mismo que se mide en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura, para lo cual nos señala la norma que la deriva inelástica no debe sobrepasar un valor de 0,02 para edificios de hormigón. [6]

A continuación se realizara el análisis de derivas tanto elásticas como inelásticas en las principales direcciones de la estructura mediante el uso de ambos espectros; tanto el espectro propuesto por la NEC 2015, así como el espectro Determinista.

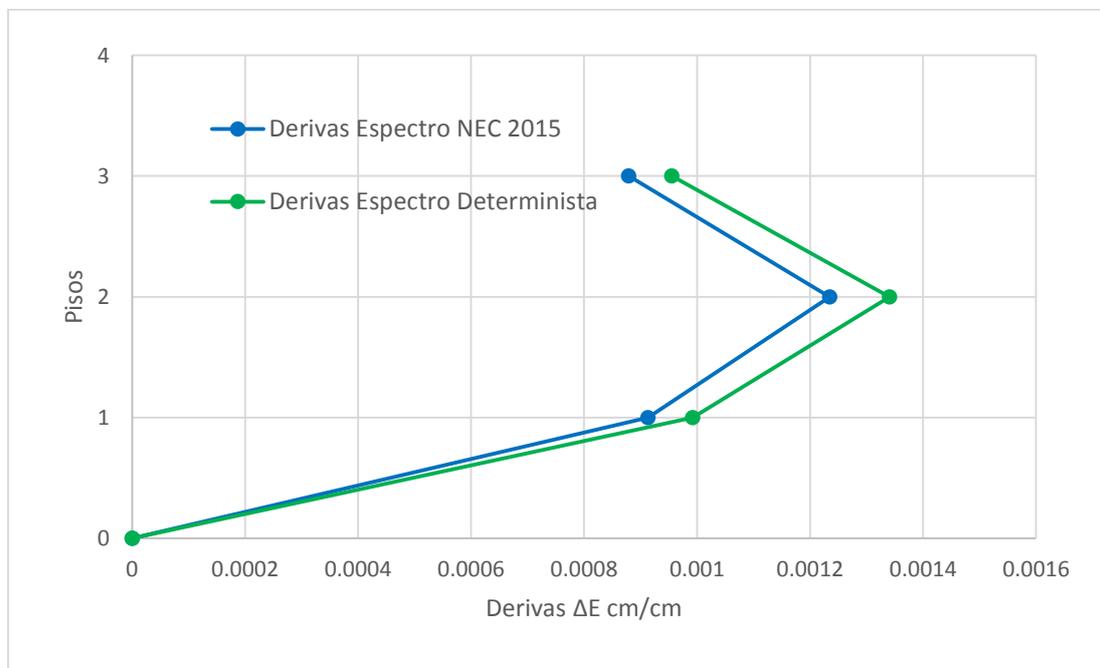
#### 4.2.3.1.6.1. Derivas causadas por Cortantes Estáticas

**Figura 51.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 52.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras 51 y 52 se aprecian las derivas elásticas producidas por fuerzas de diseño reducidas, pero la Norma Ecuatoriana de la Construcción nos pide una verificación con las derivas inelásticas; para lo cual ocuparemos la siguiente fórmula provista por la NEC 2015.

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E$$

Donde:

$\Delta_M$ .- Deriva máxima inelástica.

$\Delta_E$ .- Desplazamientos obtenidos en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R.- Factor de reducción de resistencia.

En las siguientes tablas se procederá a calcular las derivas inelásticas de las cortantes causadas por cortantes estáticas tanto en el sentido X como en el sentido Y.

**Tabla 58.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.000930	0.000879	0.00558	0.005274
2	0.001182	0.001235	0.007092	0.00741
1	0.001088	0.000913	0.006528	0.005478
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

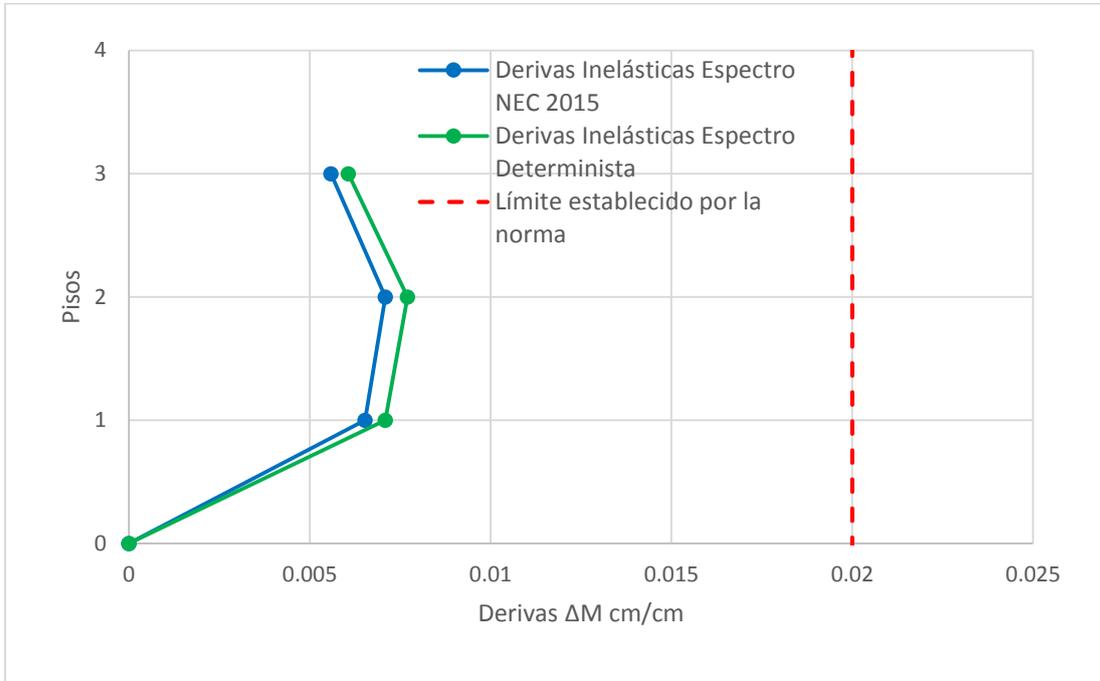
**Tabla 59.-** Derivas Inelásticas Espectro Determinista

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001011	0.000955	0.006066	0.00573
2	0.001284	0.001341	0.007704	0.008046
1	0.001182	0.000992	0.007092	0.005952
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

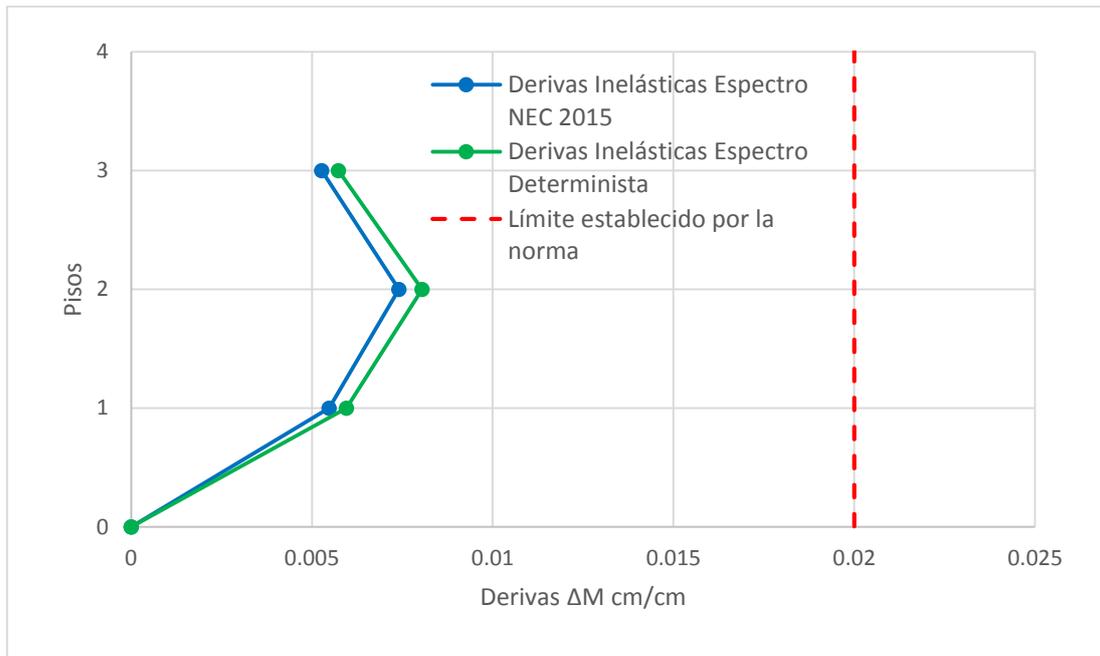
Los resultados obtenidos en las tablas 58 y 59, se muestran a continuación, donde se detallan las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la norma.

**Figura 53.- Derivas Inelásticas Sentido X**



**Elaboración.- Sarango Damián**

**Figura 54.- Derivas Inelásticas Sentido Y**

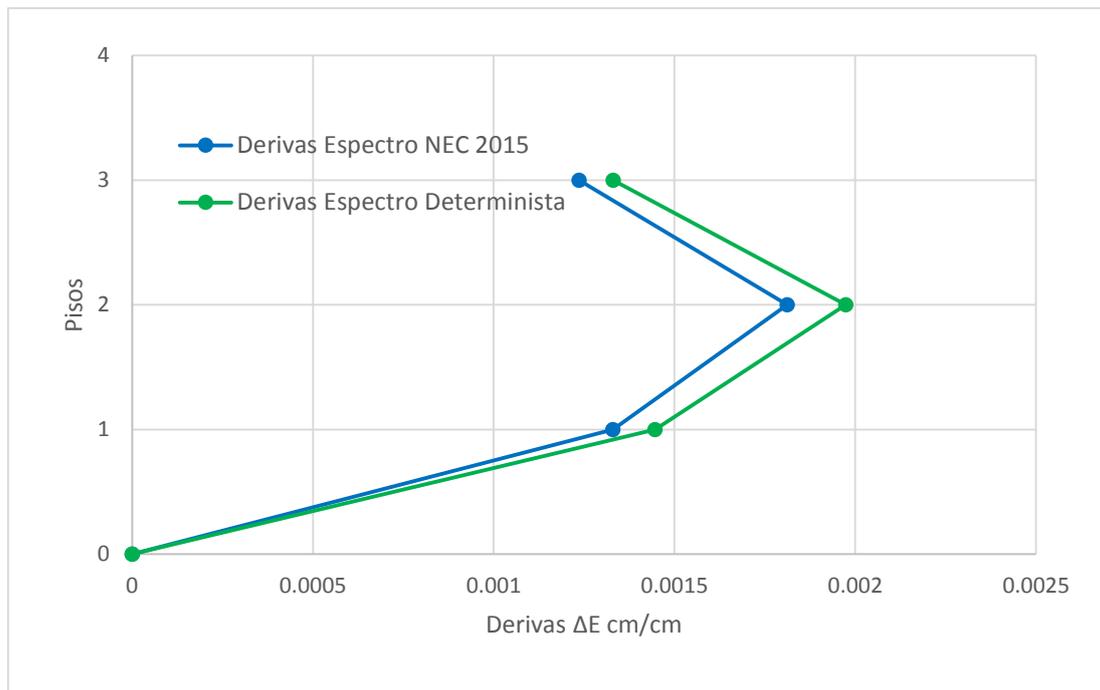


**Elaboración.- Sarango Damián**

Como se puede observar en las figuras 53 y 54, las derivas inelásticas no superan el límite establecido por la normativa tanto para el espectro proporcionado por la NEC 2015 así como por el espectro Determinista en ninguna de sus direcciones principales, señalando que el espectro Determinista provoca mayores derivas inelásticas en la estructura.

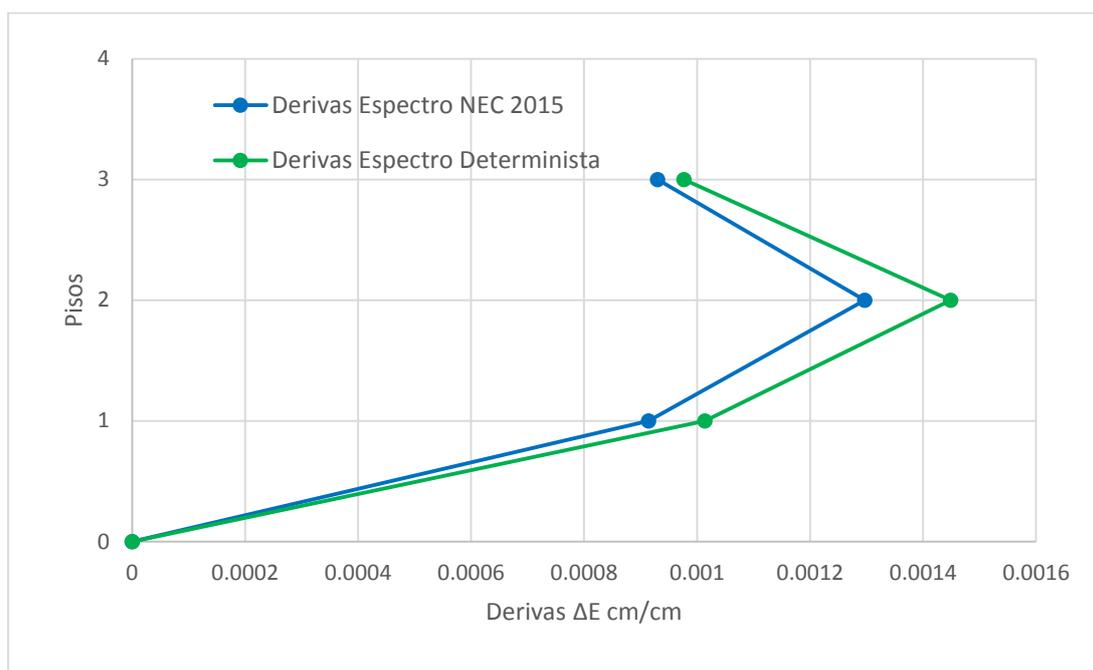
#### 4.2.3.1.6.2. Derivas causadas por Cortantes Dinámicas

**Figura 55.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 56.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras anteriores se aprecia como el espectro determinista provoca mayores derivas que el espectro de la NEC 2015; de igual manera que las derivas causadas por cortantes estáticas aquí también será necesario verificar que las derivas inelásticas no sobrepasen al límite provisto por la normativa.

**Tabla 60.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001236	0.00093	0.007416	0.00558
2	0.001812	0.001297	0.010872	0.007782
1	0.001330	0.000914	0.00798	0.005484
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

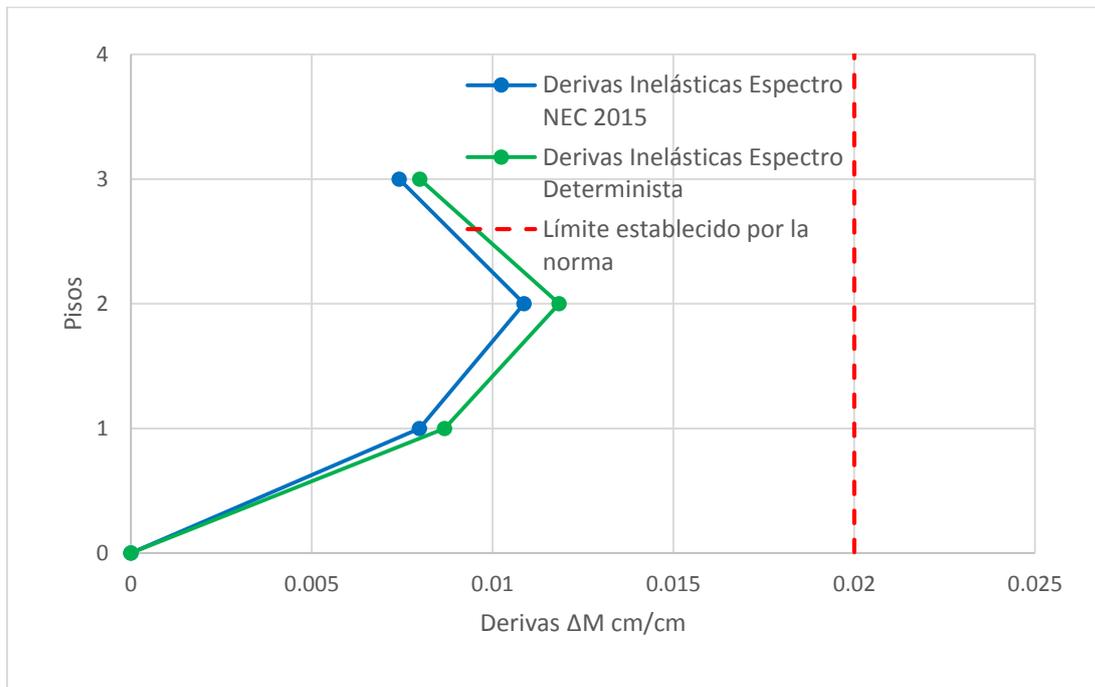
**Tabla 61.- Derivas Inelásticas Espectro Determinista**

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
3	0.001331	0.000977	0.007986	0.005862
2	0.001974	0.001449	0.011844	0.008694
1	0.001446	0.001014	0.008676	0.006084
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

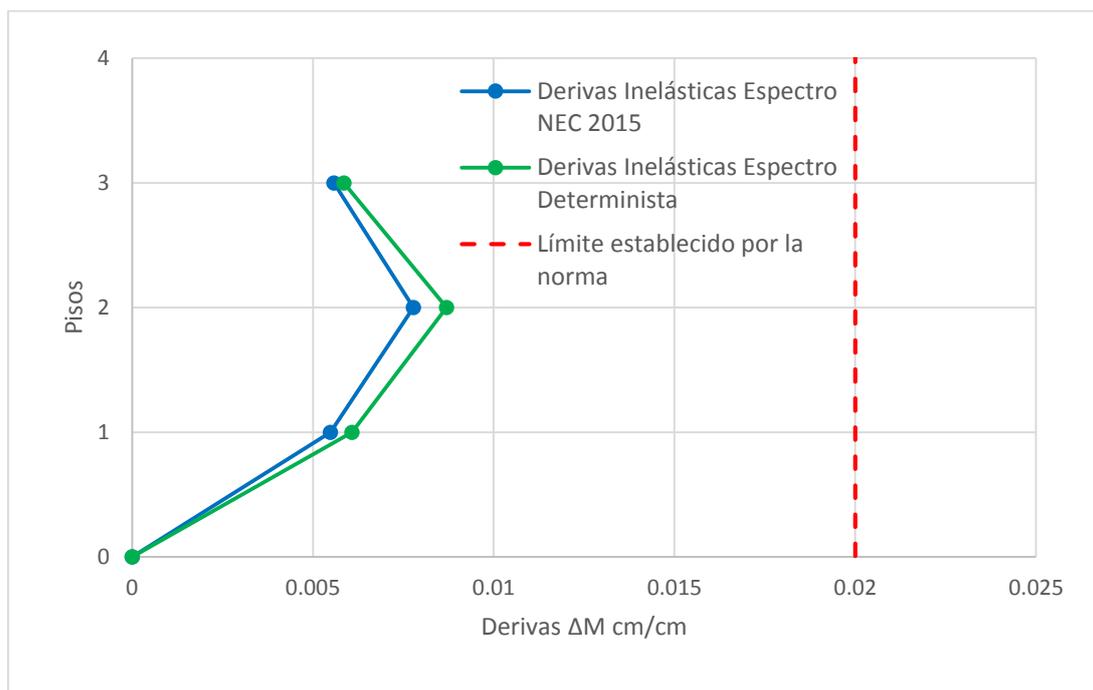
Los resultados obtenidos en las tablas 60 y 61, se muestran a continuación, donde se detallan las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la normativa.

**Figura 57.- Derivas Inelásticas Sentido X**



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 58.- Derivas Inelásticas Sentido Y**



**Elaboración.-** Sarango Damián

Como se ven en las dos figuras anteriores las derivas producidas por el espectro Determinista superan a las derivas producidas por el espectro NEC 2015, pudiendo señalar que las derivas inelásticas no superan al límite establecido en la normativa en ninguno de los dos sentidos, tanto como para el espectro Determinista y el espectro de la NEC 2015.

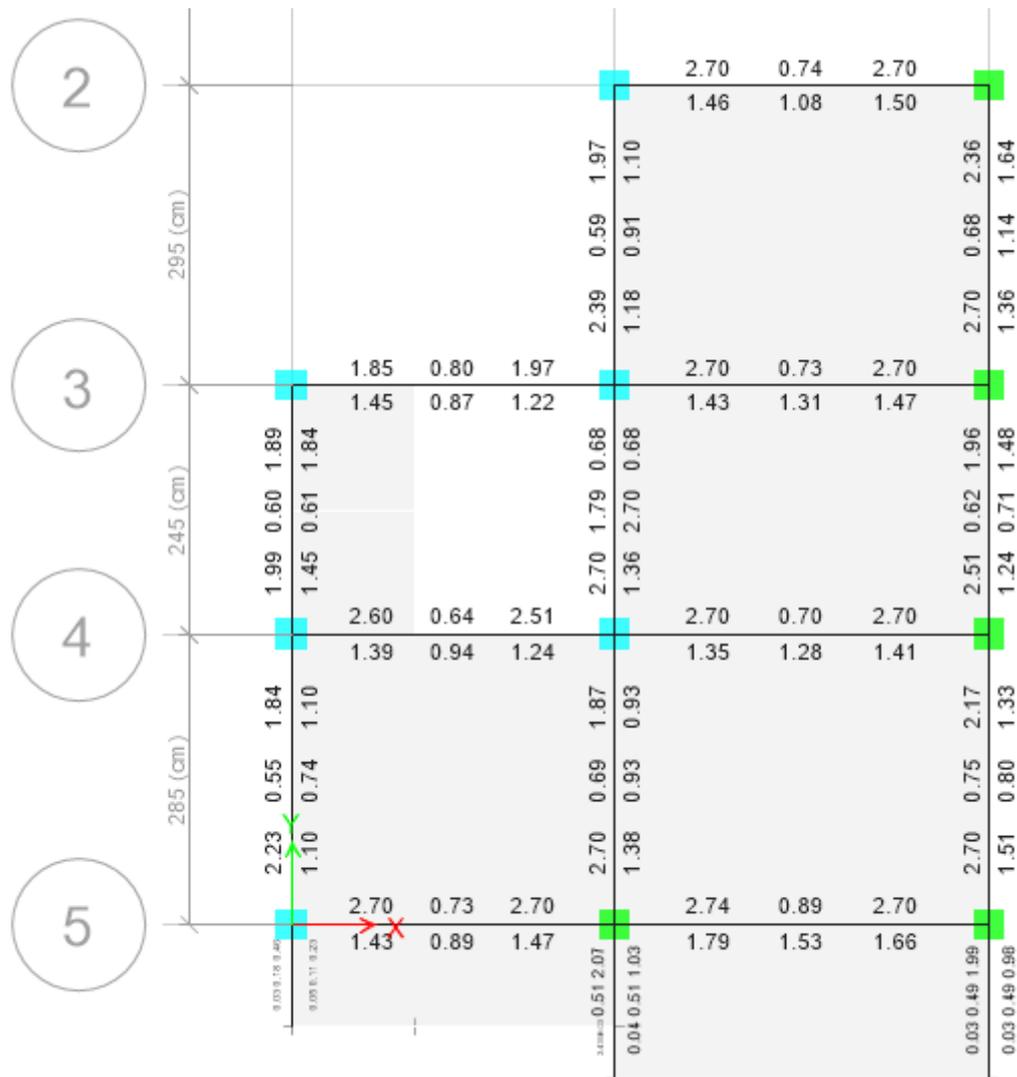
Se puede recalcar que el espectro Determinista supera al espectro de la NEC 2015 tanto en ámbito estático y dinámico, pues las estructura se encuentra en el periodo de vibración en el cual el espectro Determinista supera al NEC 2015 en el intervalo de 0,23 segundos a 0,46 segundos.

### 4.2.3.1.7. Diseño de la estructura

Posteriormente se ha realizado un diseño de la estructura para poder comparar la cantidad de acero que se requiere en la estructura, tanto para el espectro propuesto por la NEC 2015 así como el espectro Determinista, en el cual se obtuvo los siguientes resultados.

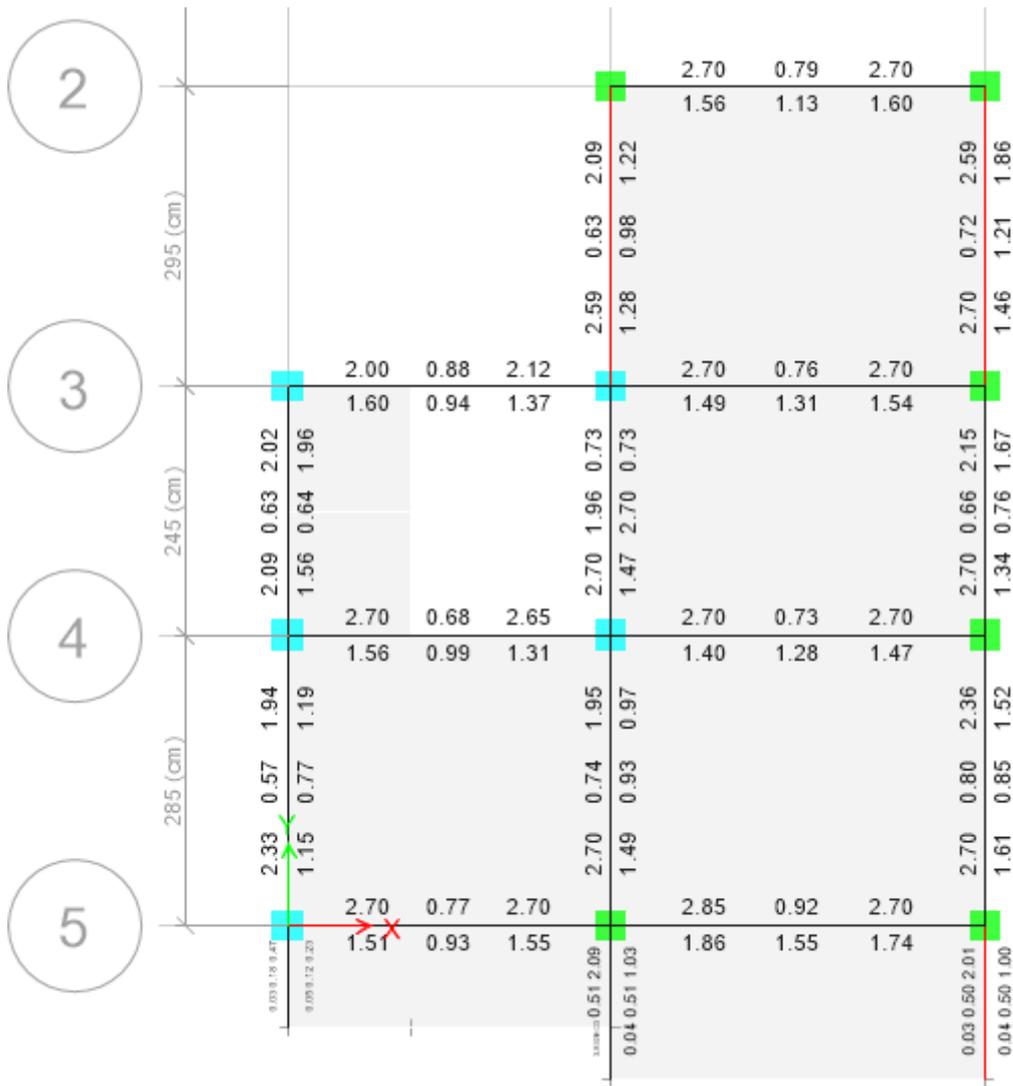
#### 4.2.3.1.7.1. Vigas

**Figura 59.- Acero Longitudinal NEC 2015**



Fuente.- ETABS 2016

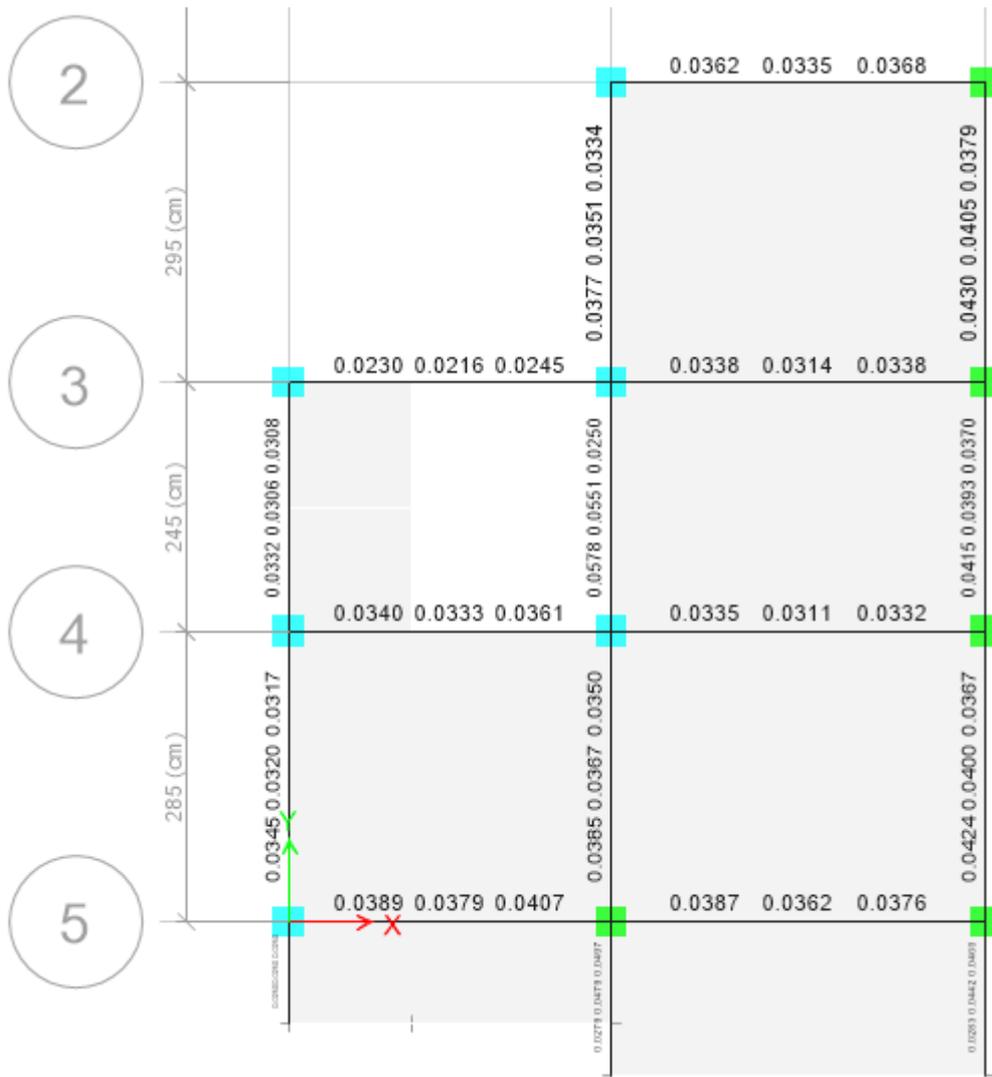
**Figura 60.- Acero Longitudinal Determinista**



**Fuente.- ETABS 2016**

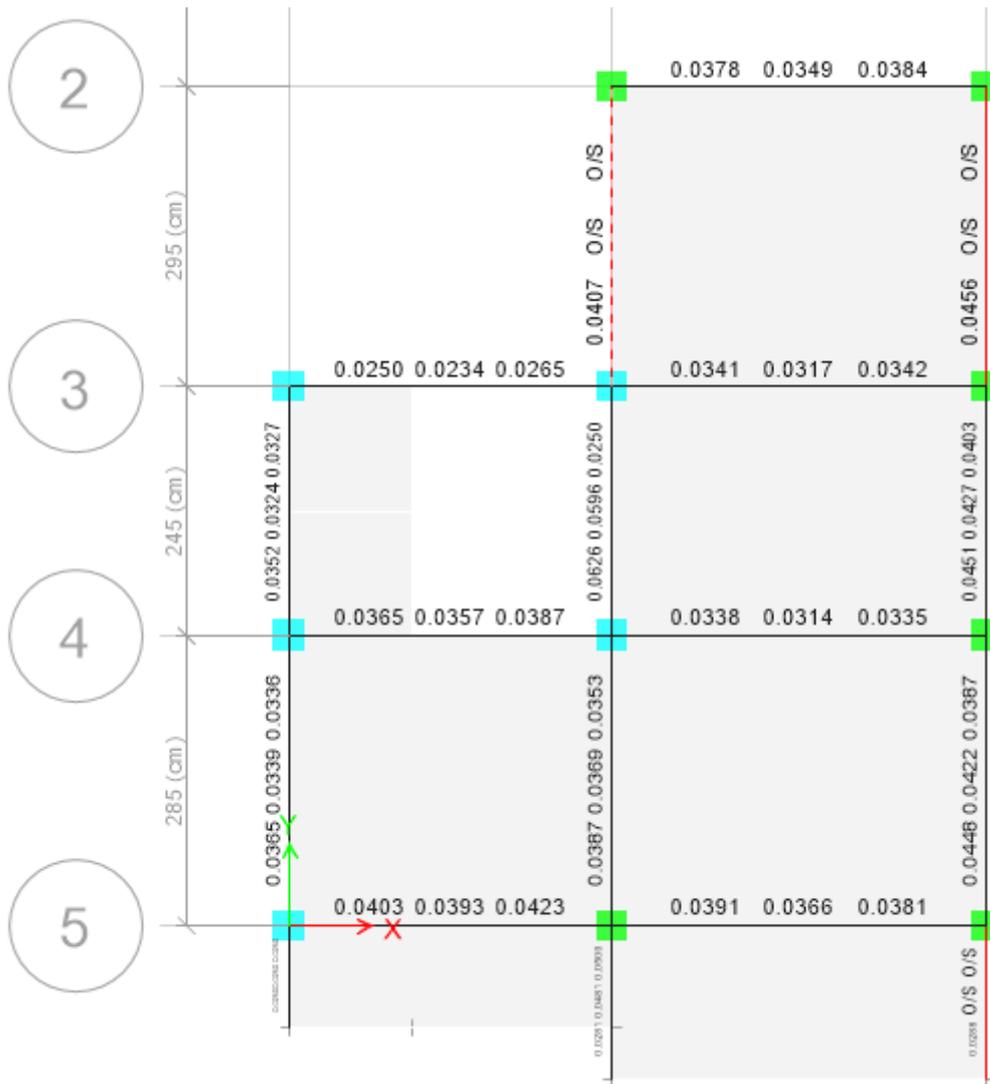
Se puede observar en las figuras 59 y 60 el acero longitudinal en vigas, diseñadas tanto con el espectro de la NEC 2015 como por el espectro Determinista y se puede apreciar que el área de acero aumenta ligeramente para el espectro Determinista, pues es ahí donde la estructura sufre mayores solicitaciones.

**Figura 61.-** Acero de Corte NEC 2015



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 62.- Acero de Corte Determinista**

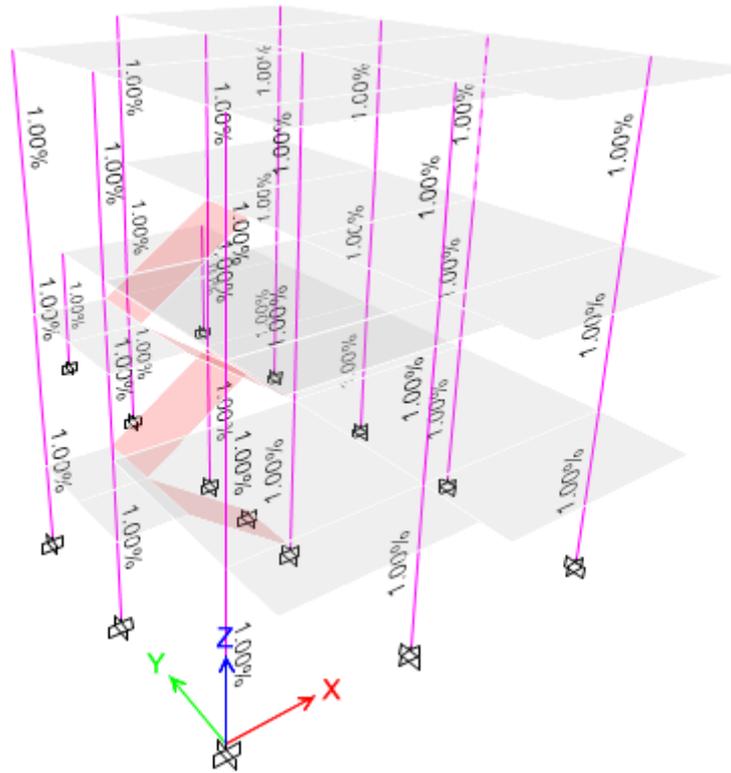


**Fuente.- ETABS 2016**

En cuanto al armado de acero de refuerzo se puede destacar que con el espectro de la NEC 2015 se diseña normalmente; mientras que para el espectro Determinista hay vigas las cuales están fallando a cortante, dicho problema se puede solucionar aumentando las dimensiones de base y/o peralte de las vigas.

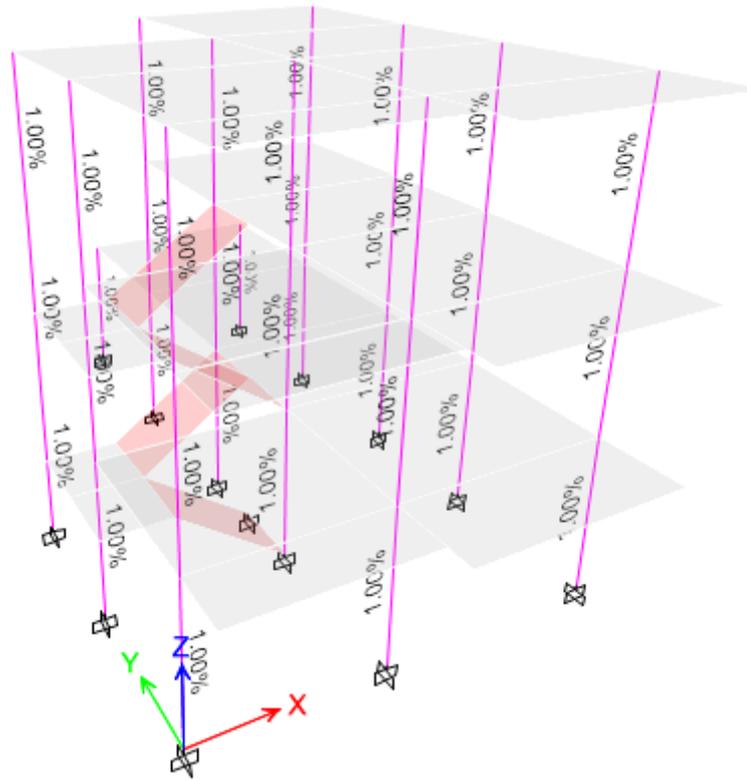
#### 4.2.3.1.7.2. Columnas

Figura 63.- Porcentaje de Acero NEC 2015



Fuente.- ETABS 2016

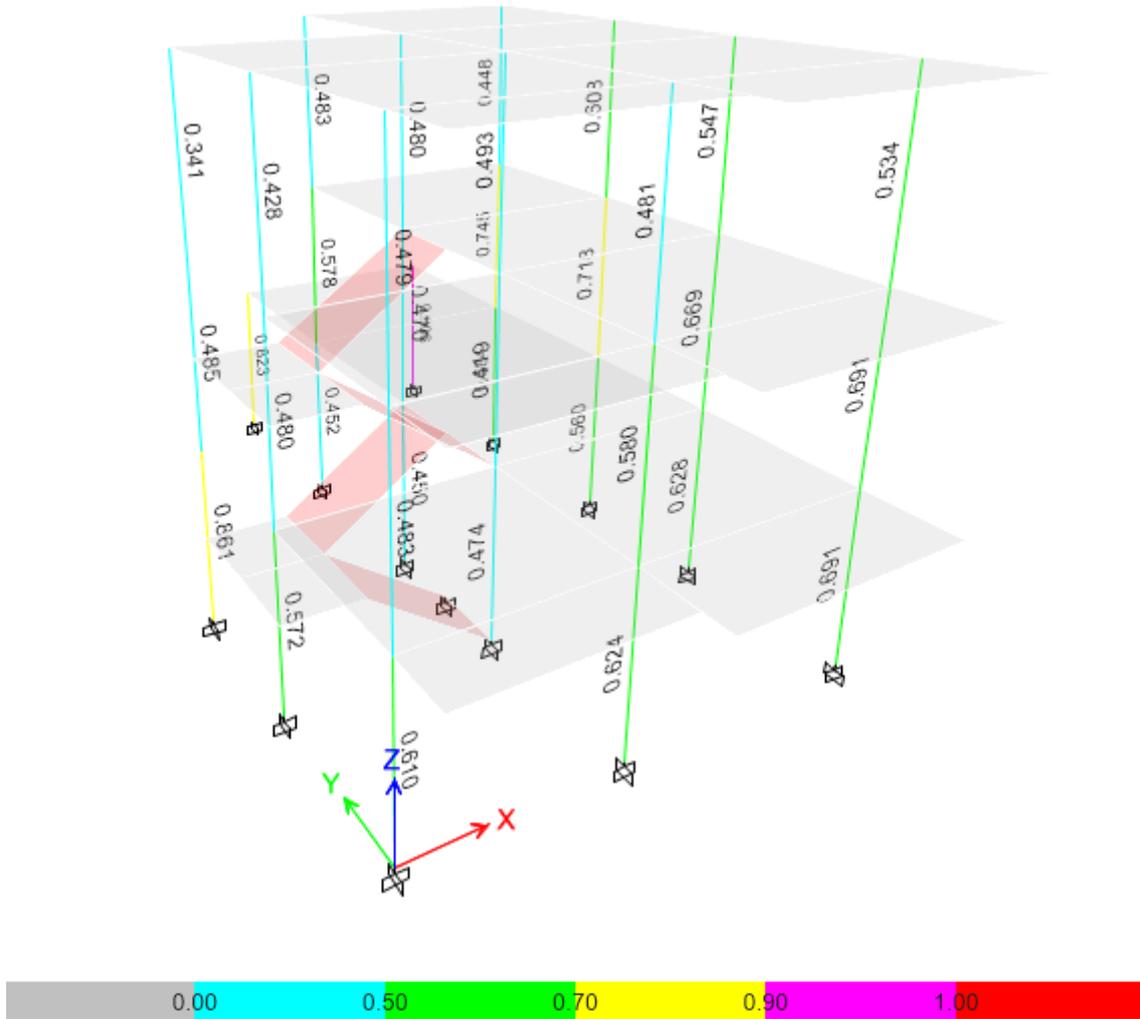
**Figura 64.-** Porcentaje de Acero Determinista



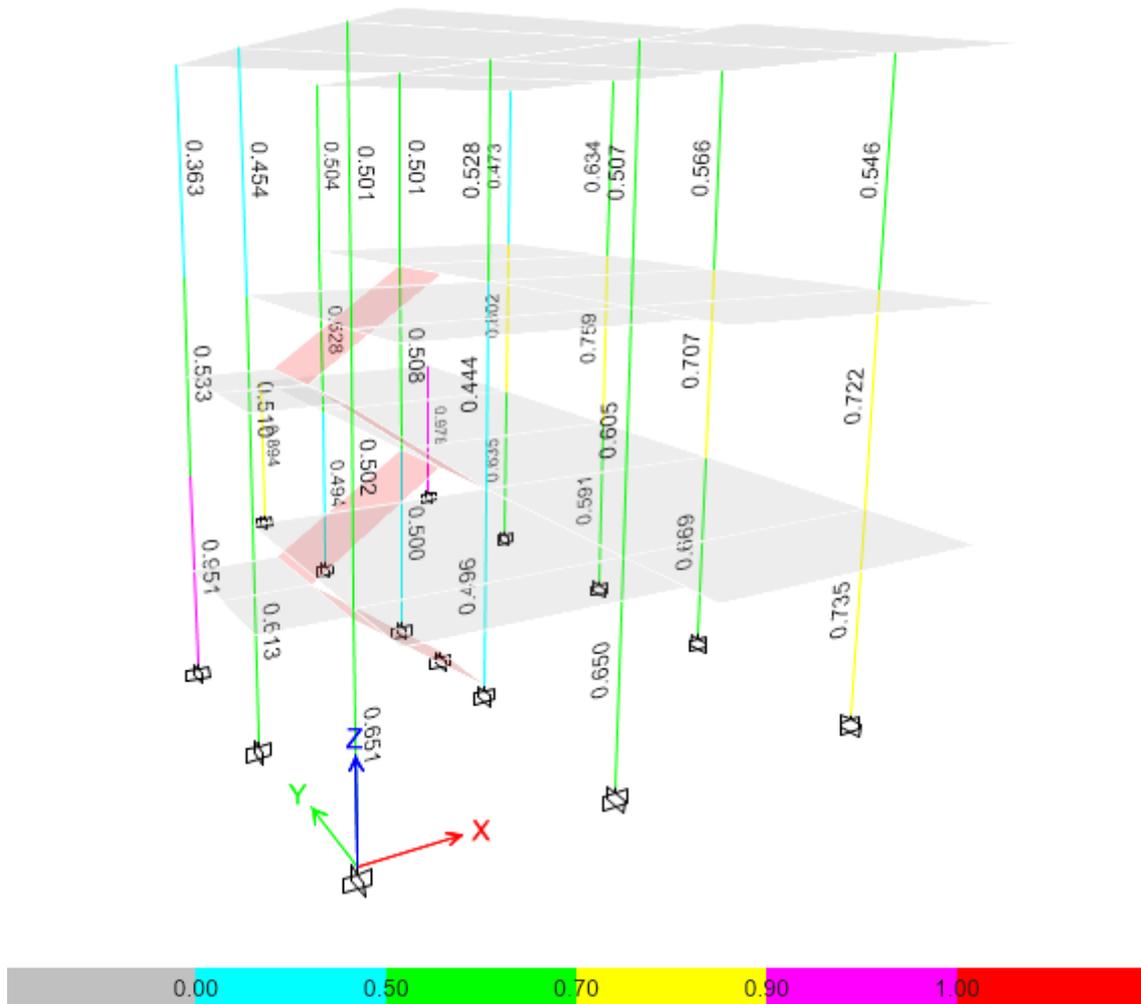
**Fuente.-** ETABS 2016

En las dos figuras mostradas anteriormente se aprecia el porcentaje de acero para cada columna, como se puede notar tanto para el espectro NEC 2015 como para el espectro Determinista el porcentaje de acero en columnas es del 1,00% lo cual está dentro de lo establecido en la normativa que va del 1 al 3%.

**Figura 65.-** Demanda - Capacidad NEC 2015



**Figura 66.-** Demanda - Capacidad Determinista



**Fuente.-** ETABS 2016

En las figuras 65 y 66 se ve la demanda – capacidad de las columnas, el cual se ve representada por una serie de colores para una mejor visualización, dichos valores se citan a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 62.- Demanda – Capacidad en Columnas**

Columna	Demanda - Capacidad	
	NEC 2015	Determinista
<b>N<sub>v</sub> + 0,00 - N<sub>v</sub> + 2,70</b>		
A3	0.861	0.951
A4	0.572	0.613
A5	0.610	0.651
B1	0.823	0.894
B2	0.452	0.494
B3	0.450	0.500
B4	0.474	0.496
B5	0.624	0.650
C1	0.906	0.978
C2	0.584	0.635
C3	0.560	0.591
C4	0.628	0.669
C5	0.691	0.735
<b>N<sub>v</sub> + 2,70 - N<sub>v</sub> + 5,40</b>		
A3	0.485	0.533
A4	0.480	0.510
A5	0.483	0.502
B2	0.578	0.628
B3	0.470	0.508
B4	0.419	0.444
B5	0.580	0.605
C2	0.745	0.802
C3	0.718	0.759
C4	0.669	0.707
C5	0.691	0.722
<b>N<sub>v</sub> + 5,40 - N<sub>v</sub> + 8,10</b>		
A3	0.341	0.363
A4	0.428	0.454
A5	0.479	0.501
B2	0.483	0.504
B3	0.480	0.501
B4	0.493	0.528
B5	0.481	0.507
C2	0.448	0.473
C3	0.608	0.634
C4	0.547	0.566
C5	0.534	0.546

**Fuente.- ETABS 2016**

En las figuras 65 y 66, así como en la tabla 62 se observa los valores de Demanda-Capacidad de las columnas, en lo cual se destaca que para el espectro Determinista presenta mayores valores, esto se debe principalmente a que las demandas para dicho espectro es mayor a las demandas del espectro NEC 2015, sin embargo cabe destacar que en ninguno de los dos casos este valor sobre pasa a 1 que es el máximo que puede resistir la estructura.

#### 4.2.3.2. Estructura de 2 pisos

##### 4.2.3.2.1. Características de la edificación

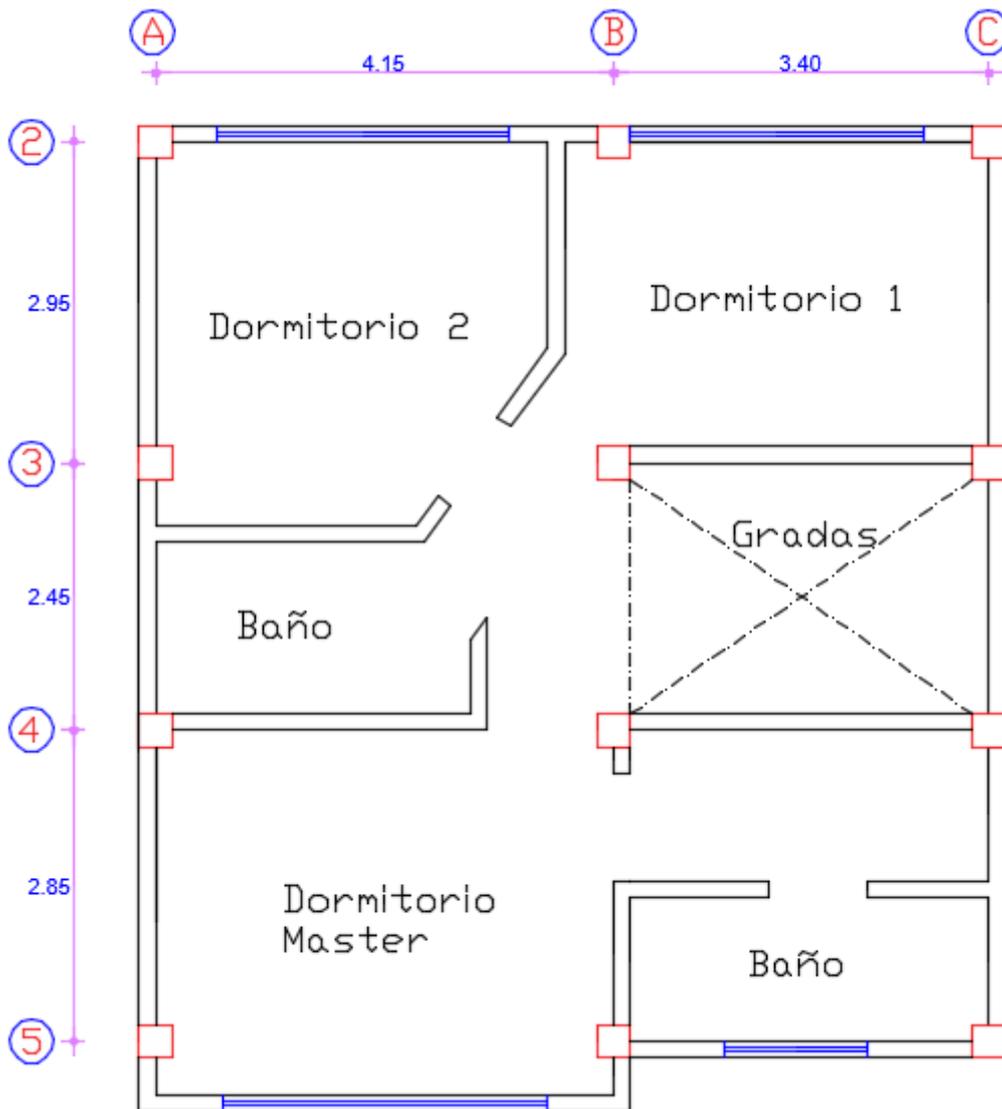
La vivienda seleccionada es de 2 niveles, siendo este tipo de edificaciones las que se encuentran en gran cantidad en el área de estudio, pues se puede observar la influencia del espectro determinista es estructuras de períodos cortos.

**Tabla 63.-** Características estructurales de la edificación

<b>Indicador</b>	<b>Característica</b>
Sistema resistente a carga lateral	Pórtico de hormigón armado
Distribución geométrica en planta	Iregular
Distribución geométrica en elevación	Regular
Altura de entrepiso	2,88 m y 2,70m
Resistencia del concreto	$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$
Límite de fluencia del acero	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Sección de columnas	30cm x 30cm
Recubrimiento en columnas	3cm
Sección de vigas	30cm x 30cm
Recubrimiento en vigas	3cm
Tipo de losa	Nervada
Espesor de losa	20 cm
Ancho de nervios	10 cm

**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 67.-** Plano arquitectónico



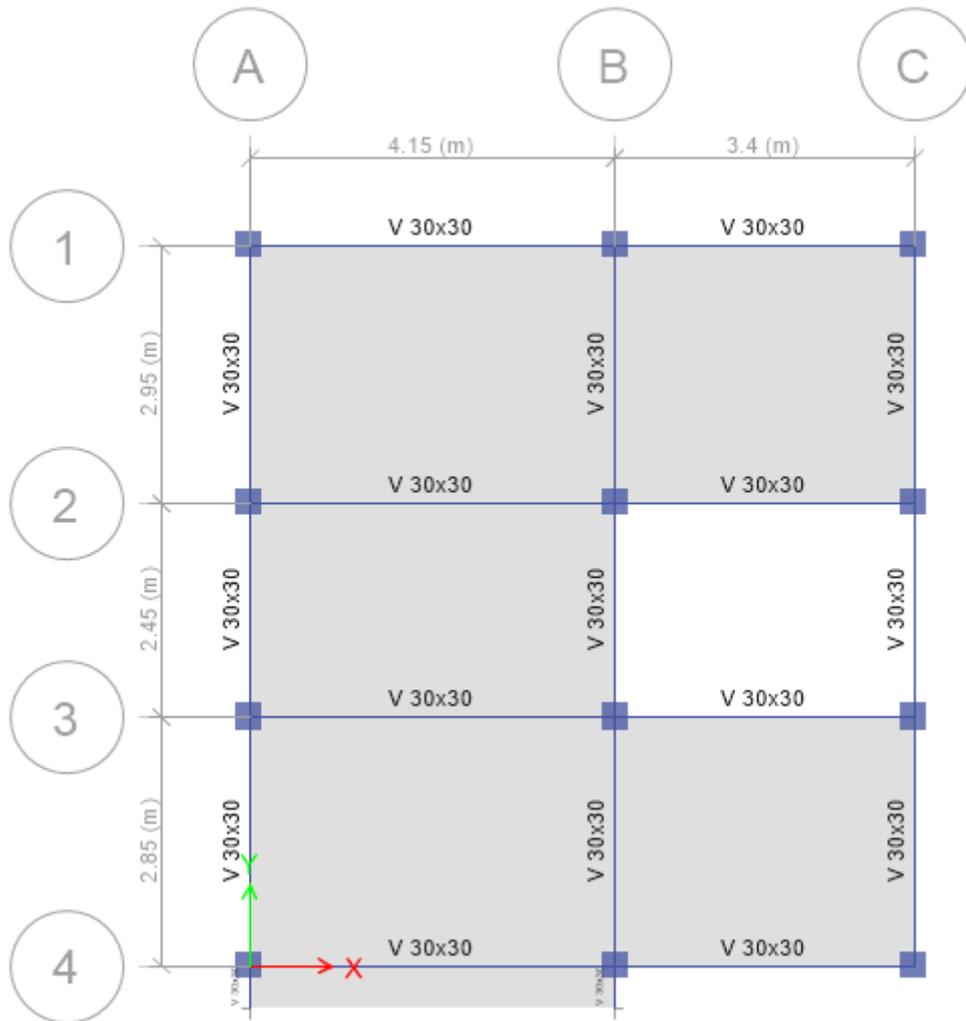
**Fuente.-** Sarango Damián

**Figura 68.-** Modelado estructural de la edificación



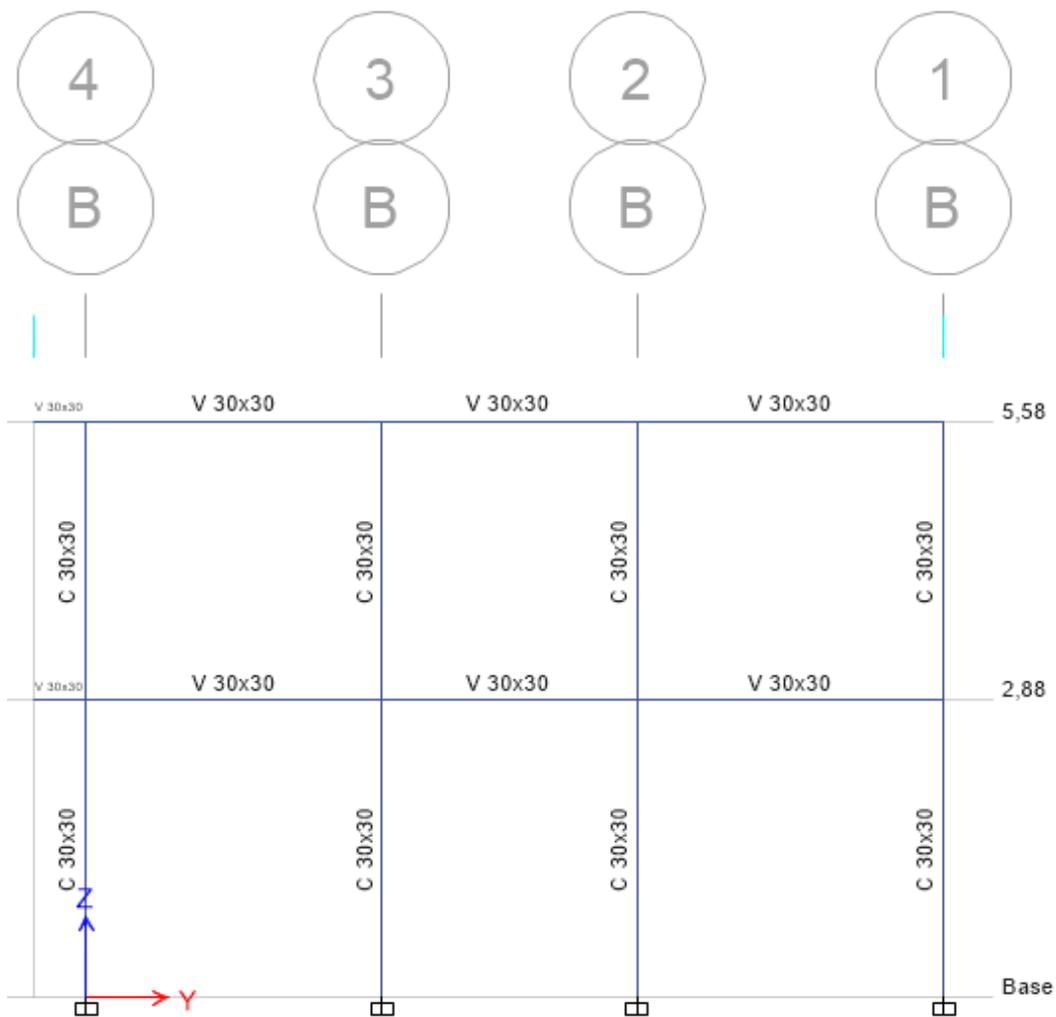
**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 69.-** Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,88m



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 70.-** Vista en elevación de la edificación



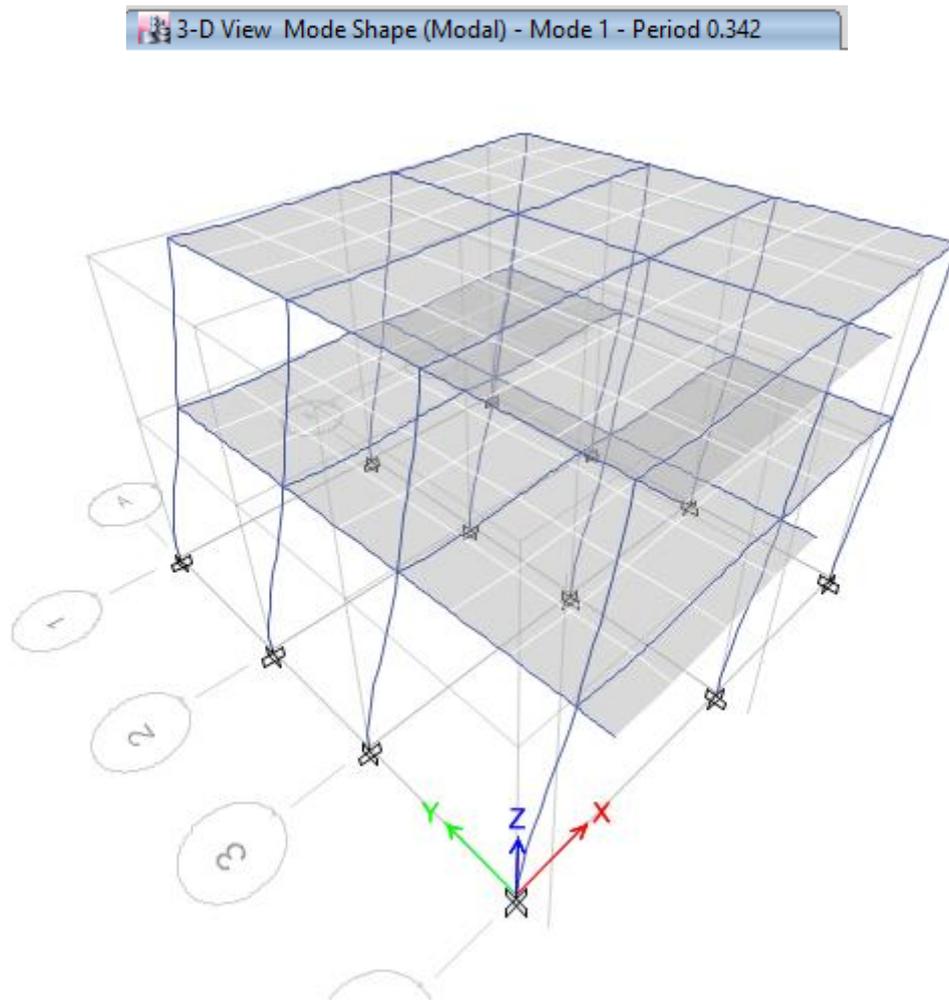
**Fuente.-** ETABS 2016

### **Análisis de lineal de la edificación**

#### **4.2.3.2.2. Determinación del período de vibración fundamental**

En el modelado de ETABS 2016 se obtuvo un período de vibración fundamental de  $T_a=0,34\text{seg}$ , con el que se obtendrá parámetros para el análisis de cortante basal.

**Figura 71.-** Período de vibración fundamental



**Fuente.-** ETABS 2016

#### 4.2.3.2.3. Determinación de los modos de vibración

Para el cálculo de los modos de vibración se usarán las siguientes formulas.

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Traslacional}$$

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Torsional}$$

**Tabla 64.-** Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración

<b>Modo</b>	<b>Rz</b>	<b>Ux o Uy</b>	<b>% Torsión</b>	<b>Comportamiento</b>
1	0.0062	0.9201	0.67%	Traslacional
2	0.0171	0.9178	1.86%	Traslacional
3	0.9066	0.0171	5301.75%	Torsional

**Fuente.-** ETABS 2016

De la tabla anterior se puede apreciar que los primeros 2 modos de vibración tienen un porcentaje menor al 30% por lo que presentan un comportamiento traslacional, mientras el tercer modo presenta un comportamiento torsional.

#### **4.2.3.2.4. Cortante Basal Estático**

Utilizando las formulas provistas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción obtenemos:

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset p * \emptyset e} * W$$

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset p * \emptyset e}$$

$$V = CB * W$$

El coeficiente basal CB será calculado para cada uno de los espectros. En la siguiente tabla se muestran los valores ligados para el cálculo del coeficiente basal.

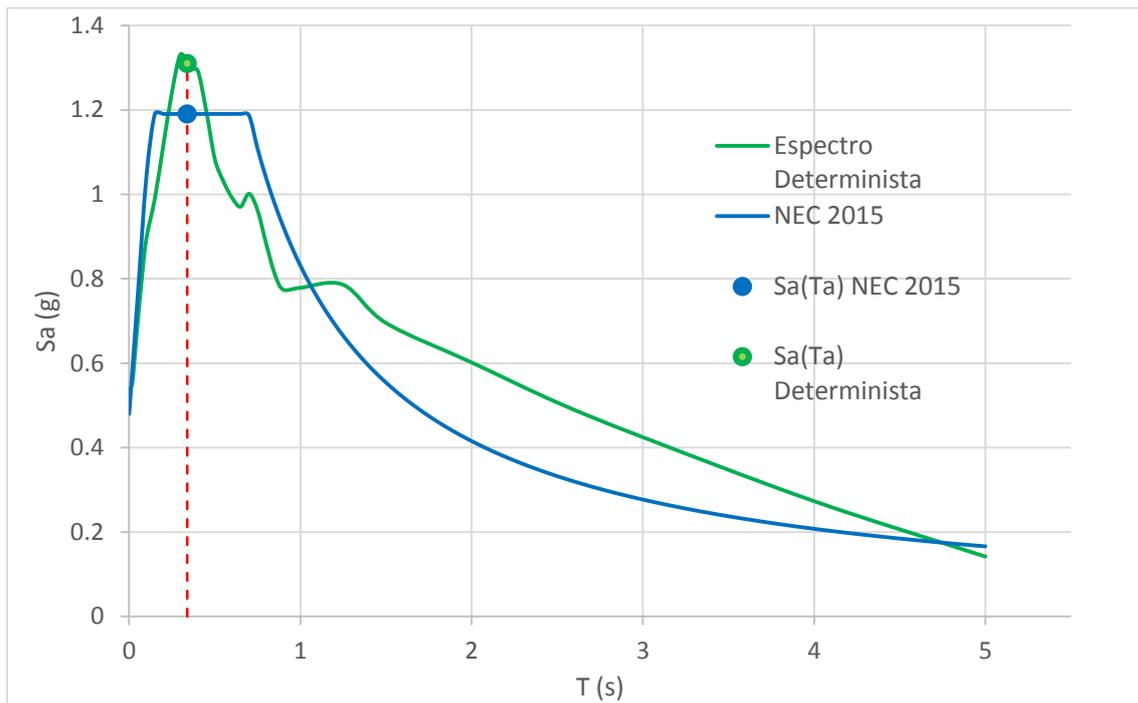
**Tabla 65.-** Variables para el cálculo del coeficiente basal

<b>COEFICIENTE</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>VALOR</b>
I (Coeficiente de Importancia)	Otras estructuras	1
R (Factor de reducción de resistencia sísmica)	Pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
$\phi_p$ (Coeficiente de configuración en planta)	Irregular	0.9
$\phi_e$ (Coeficiente de configuración en elevación)	Regular	1

**Fuente.-** NEC 2015

Para determinar la aceleración con la que el espectro tanto de la NEC 2015 como determinista demanda a la estructura utilizaremos la siguiente gráfica, junto con el valor del período de vibración de la estructura.

**Figura 72.-** Determinación de Sa(Ta)



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura anterior se observa que la aceleración espectral Sa(Ta) es de 1,1904g para el espectro de la NEC 2015 y 1,300g para el espectro Determinista, los mismos que servirán para el cálculo del coeficiente basal.

#### **Coeficiente Basal espectro NEC 2015**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,1904}{8 * 1 * 1}$$

$$CB = 0,1488$$

### Coefficiente Basal espectro Determinista

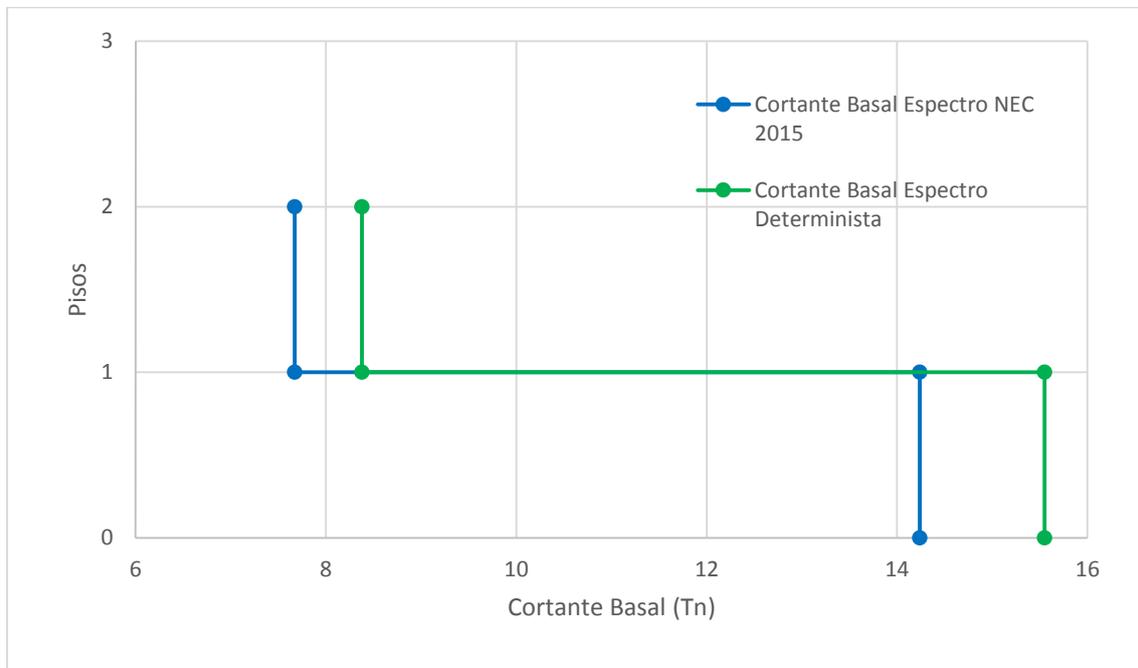
$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,300}{8 * 1 * 1}$$

$$CB = 0,1625$$

Mediante el coeficiente basal se podrá obtener valores de cortante que se aplican en la base de la estructura con su respectiva distribución en elevación.

**Figura 73.-** Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura 73 se puede observar que la distribución de cortante basal de la estructura es de 14,24Tn para el espectro de la NEC 2015 y 15,55Tn para el espectro Determinista en sus dos direcciones principales; la diferencia de valores se debe al aumento de aceleraciones que presenta el espectro Determinista para estructuras con períodos de vibración entre 0,23seg y 0,46seg; como la estructura presenta un período de vibración fundamental de 0,342 segundos la aceleración espectral provocada por el espectro Determinista genera mayores sollicitaciones de cortante basal que las generadas por el espectro de la NEC 2015.

#### 4.2.3.2.5. Cortante Basal Dinámico

Se deben conocer los modos de vibración que involucren la participación modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en las direcciones horizontales principales. [6]

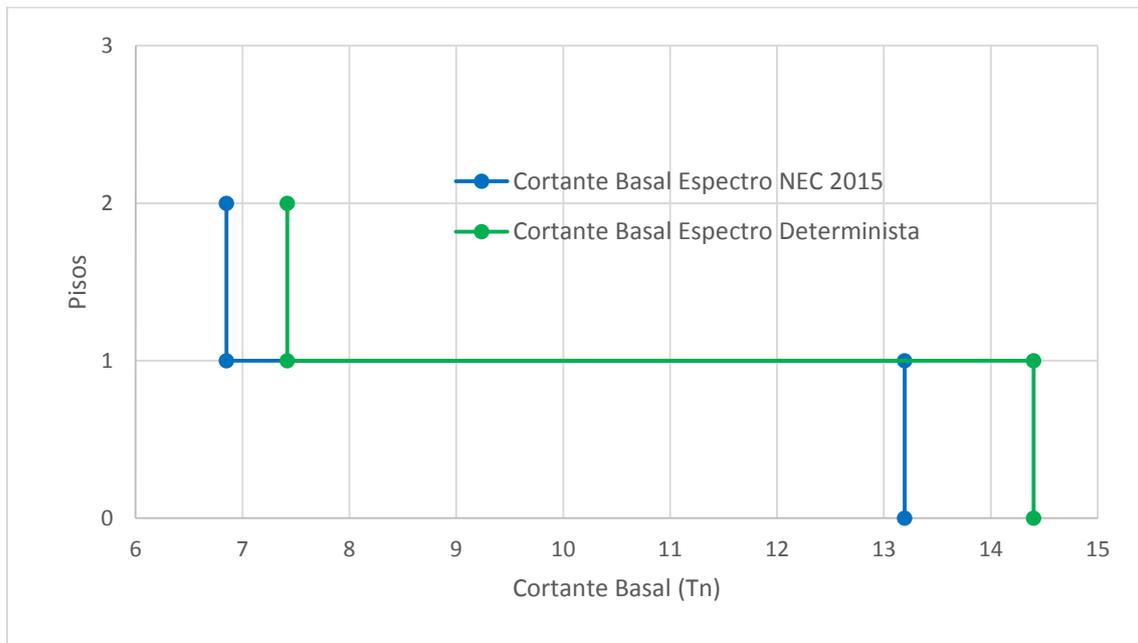
**Tabla 66.-** Porcentaje de participación modal de la masa

Modo de vibración	Período (s)	% de participación de la masa		% de participación de la masa acumulada	
		Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.342	92.02%	0.14%	92.02%	0.14%
2	0.325	0.22%	91.80%	92.23%	91.94%
3	0.281	0.47%	1.72%	92.71%	93.65%

Fuente.- ETABS 2016

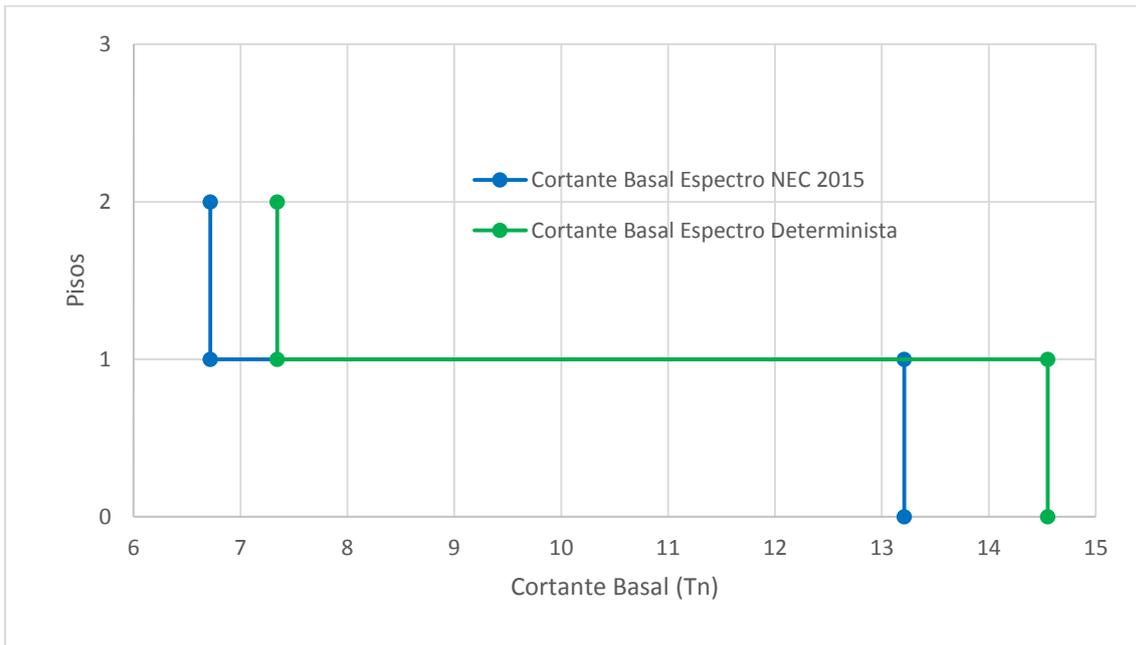
La participación modal de la masa cumple los requisitos de la NEC 2015 pues en el sentido “X” alcanza un porcentaje de acumulación de 92,02% en el primer modo de vibración mientras que en el sentido “Y” se alcanza un porcentaje de participación modal acumulada de 91,94% a partir de segundo modo de vibración.

**Figura 74.-** Cortante Basal Dinámico Sentido X



Elaboración.- Sarango Damián

**Figura 75.-** Cortante Basal Dinámico Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras 74 y 75 se observa que igualmente que el análisis estático, la distribución de cortante es mayor para el espectro Determinista, tanto para el sentido “X” con 14,40Tn y en el sentido “Y” con 14,55Tn mientras que el espectro NEC genera cortantes de 13,19Tn para el sentido “X” y 13,21Tn para el sentido “Y”; confirmando la superioridad de solicitudes de cortante producidas por el espectro Determinista.

Con los valores obtenidos en las figuras 73, 74 y 75, se puede realizar la comprobación de los requerimientos para cortante basal establecido en la norma, donde:

$$V_D \geq 80\% V_E \text{ (estructuras regulares)}$$

$$V_D \geq 85\% V_E \text{ (estructuras irregulares)}$$

**Tabla 67.- Ajuste de Cortante Basal NEC 2015**

<b>NORMA ECUATORIA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 5,58	6.85	7.67	89.31%	Cumple
Nv + 2,88	6.85	7.67	89.31%	Cumple
Nv + 0,00	13.19	14.24	92.63%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 5,58	6.72	7.67	87.61%	Cumple
Nv + 2,88	6.72	7.67	87.61%	Cumple
Nv + 0,00	13.21	14.24	92.77%	Cumple

**Fuente.- ETABS 2016**

**Tabla 68.- Ajuste de Cortante Basal Determinista**

<b>DETERMINISTA</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 5,58	7.42	8.37	88.65%	Cumple
Nv + 2,88	7.42	8.37	88.65%	Cumple
Nv + 0,00	14.40	15.55	92.60%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 5,58	7.34	8.37	87.69%	Cumple
Nv + 2,88	7.34	8.37	87.69%	Cumple
Nv + 0,00	14.55	15.55	93.57%	Cumple

**Fuente.- ETABS 2016**

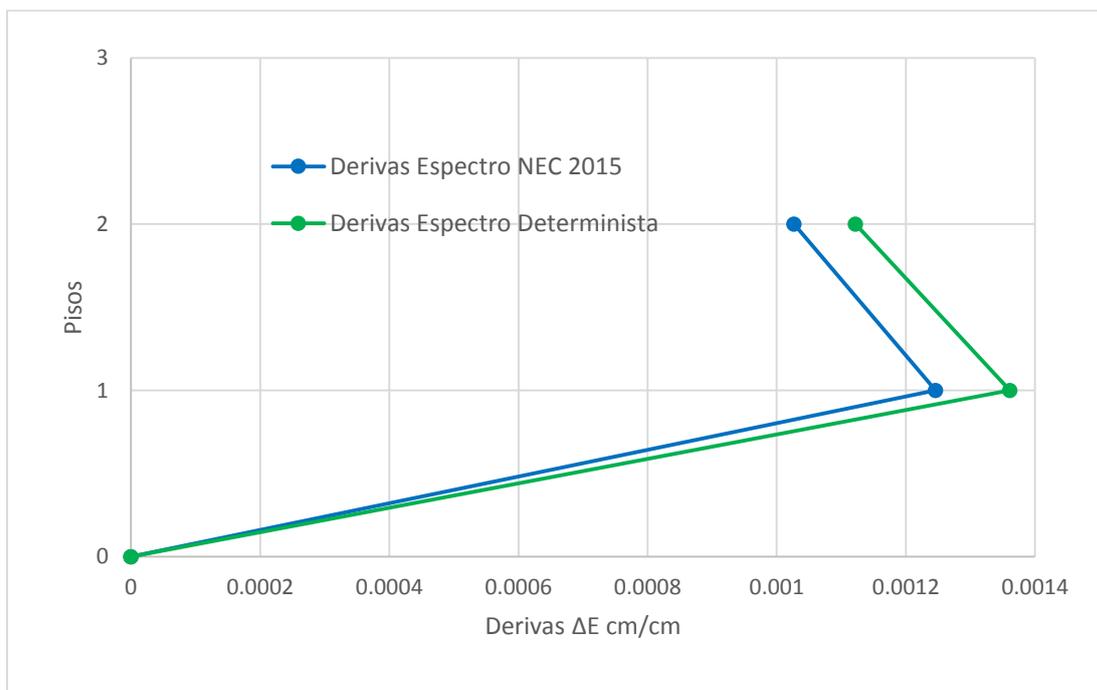
En las tablas 67 y 68 se puede apreciar que se cumple lo señalado por la norma tanto para el espectro de la NEC 2015 y el espectro Determinista; en el sentido "X" y sentido en el "Y"

#### 4.2.3.2.6. Análisis de Derivas

A continuación se realizará el análisis de derivas tanto elásticas como inelásticas en las principales direcciones de la estructura mediante el uso de ambos espectros; tanto el espectro propuesto por la NEC 2015, así como el espectro Determinista; la normativa nos da a conocer que el valor máximo de deriva inelásticas no debe ser mayor de 2% para edificios de hormigón.

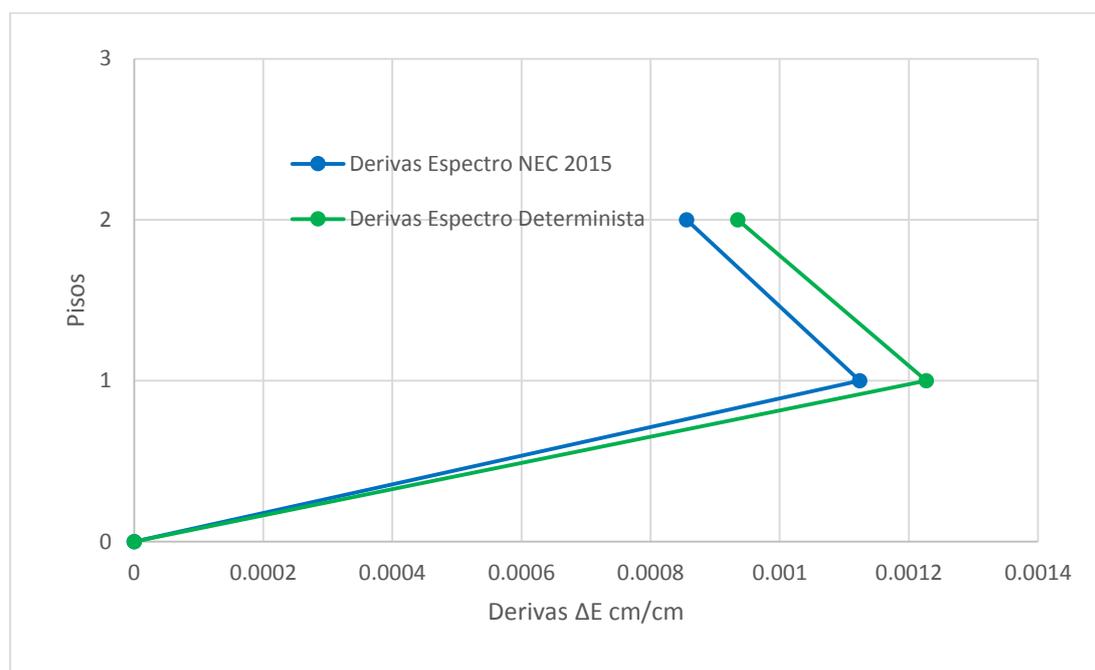
##### 4.2.3.2.6.1. Derivas causadas por Cortantes Estáticas

**Figura 76.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 77.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras 76 y 77 se aprecian las derivas elásticas producidas por fuerzas de diseño reducidas, pero la Norma Ecuatoriana de la Construcción nos pide una verificación con las derivas inelásticas; para lo cual se ocupara la fórmula de la NEC 2015.

En las siguientes tablas se procederá a calcular las derivas inelásticas de las cortantes causadas por cortantes estáticas tanto en el sentido X como en el sentido Y.

**Tabla 69.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
2	0.001027	0.000856	0.006162	0.005136
1	0.001246	0.001124	0.007476	0.006744
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

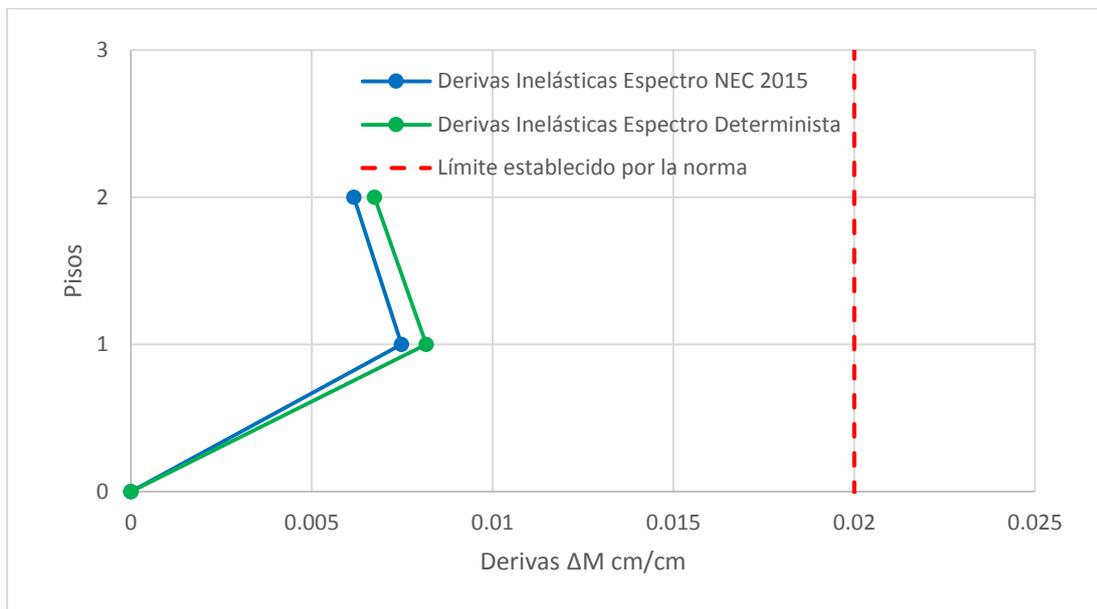
**Tabla 70.-** Derivas Inelásticas Espectro Determinista

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
2	0.001122	0.000935	0.006732	0.00561
1	0.001361	0.001227	0.008166	0.007362
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

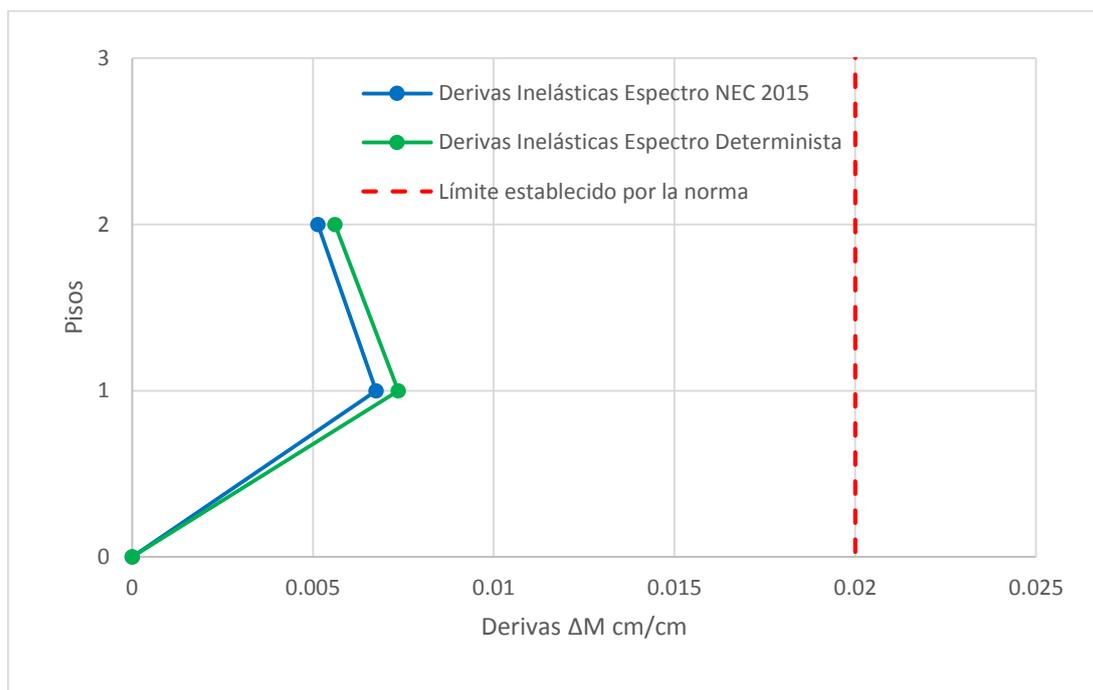
Los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se muestran a continuación, donde se detallas las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la normativa

**Figura 78.-** Derivas Inelásticas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 79.- Derivas Inelásticas Sentido Y**

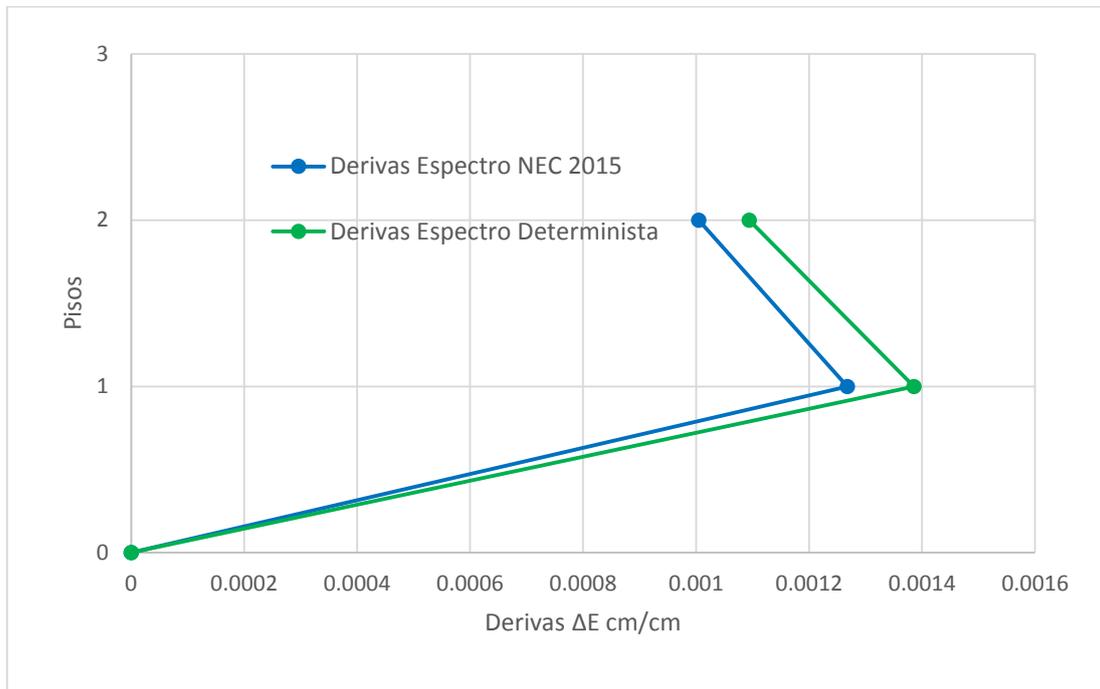


**Elaboración.-** Sarango Damián

Como se puede observar en las figuras 78 y 79, las derivas inelásticas no superan el límite establecido por la normativa tanto para el espectro proporcionado por la NEC 2015 así como por el espectro Determinista en ninguna de sus direcciones principales, señalando que el espectro Determinista provoca mayores derivas inelásticas en la estructura.

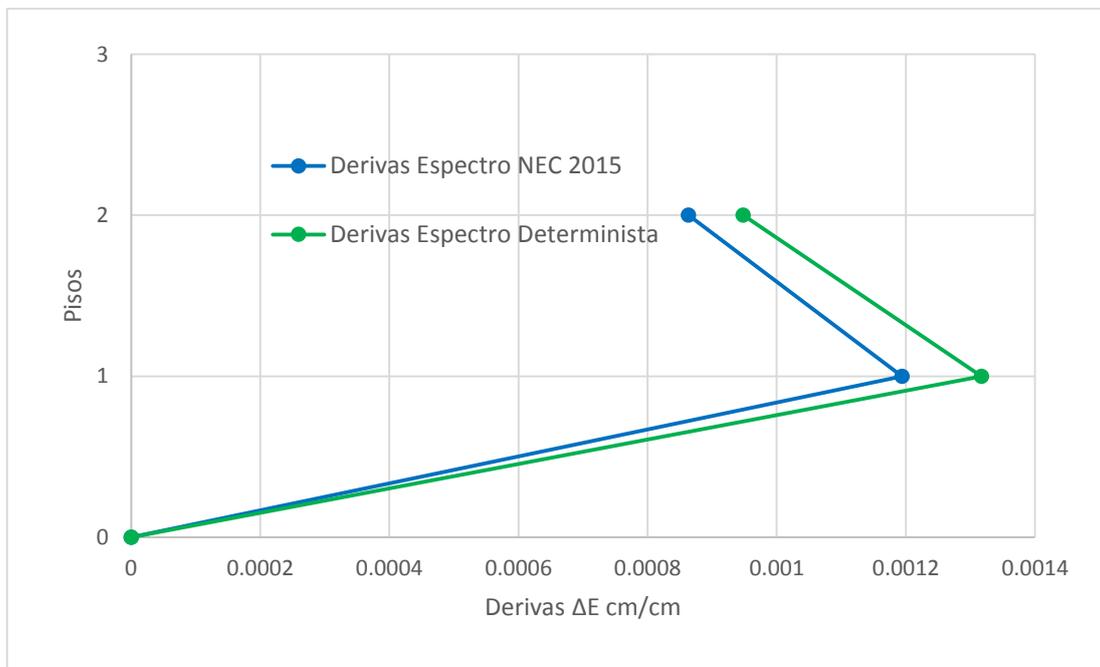
#### 4.2.3.2.6.2. Derivas causadas por Cortantes Dinámicas

**Figura 80.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 81.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras anteriores se aprecia como el espectro Determinista provoca mayores derivas que el espectro de la NEC 2015; de igual manera que las derivas causadas por cortantes estáticas aquí también será necesario verificar que las derivas inelásticas no sobrepasen al límite proporcionado por la norma.

**Tabla 71.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
2	0.001005	0.000863	0.00603	0.005178
1	0.001268	0.001194	0.007608	0.007164
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

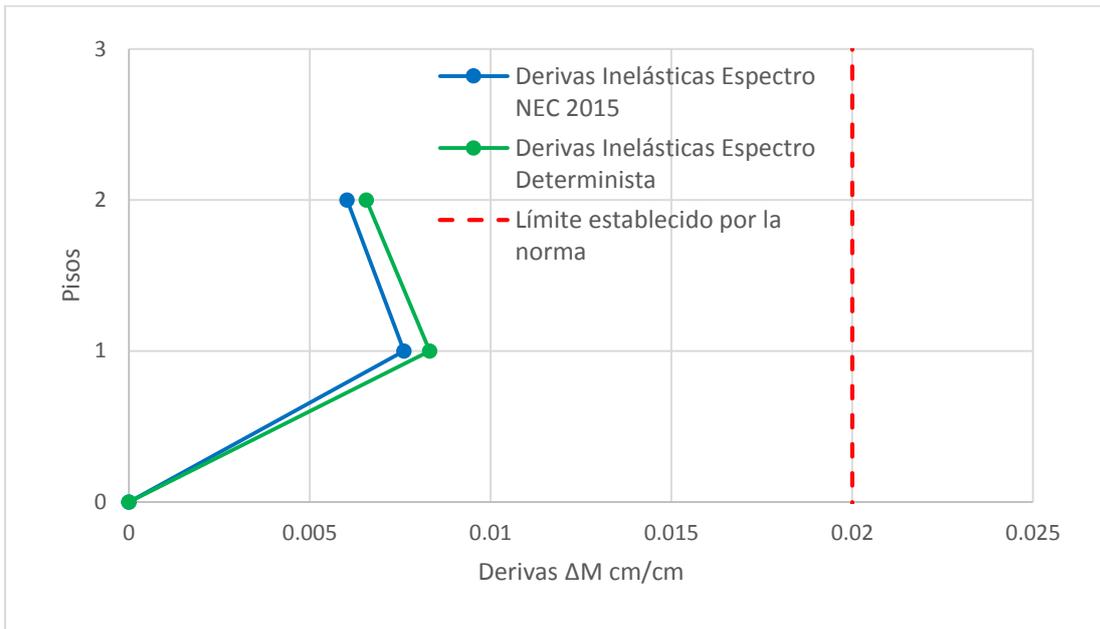
**Tabla 72.-** Derivas Inelásticas Espectro Determinista

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelástica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
2	0.000863	0.000948	0.005178	0.005688
1	0.001194	0.001317	0.007164	0.007902
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

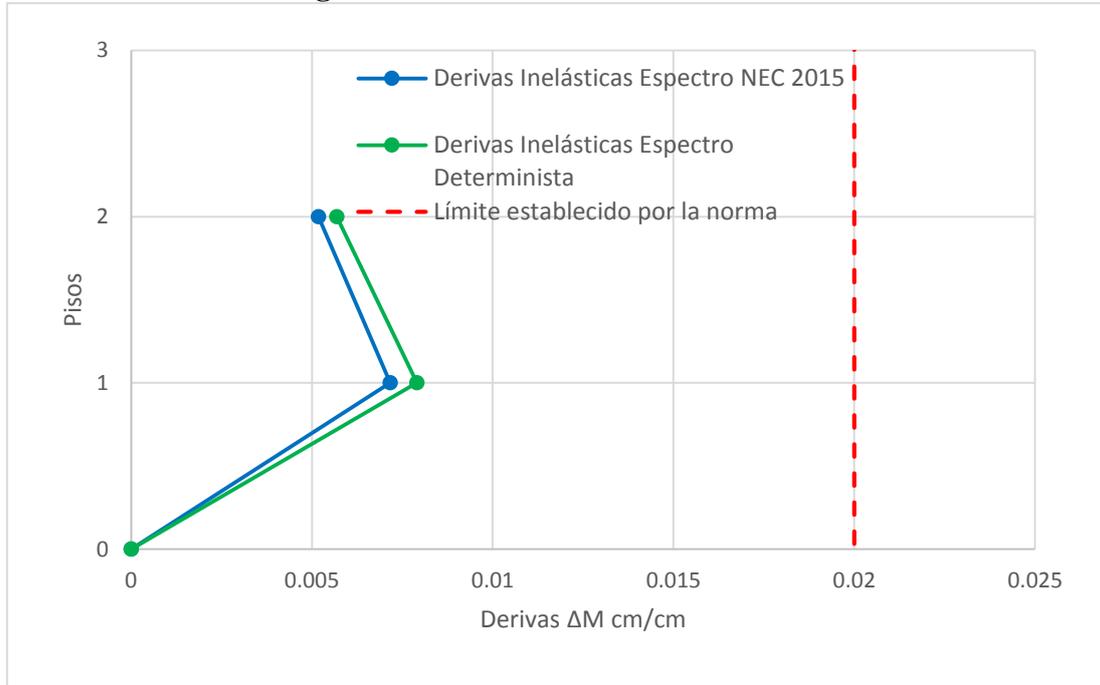
Los resultados obtenidos en las tablas 71 y 72, se muestran a continuación, donde se detallan las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la normativa.

**Figura 82.- Derivas Inelásticas Sentido X**



**Elaboración.- Sarango Damián**

**Figura 83.- Derivas Inelásticas Sentido Y**



**Elaboración.- Sarango Damián**

Como se ven en las dos figuras anteriores las derivas producidas por el espectro Determinista superan a las derivas producidas por el espectro NEC 2015, pudiendo señalar que las derivas inelásticas no superan al límite establecido en la normativa en ninguno de los dos sentidos, tanto como para el espectro Determinista y el espectro de la NEC 2015.

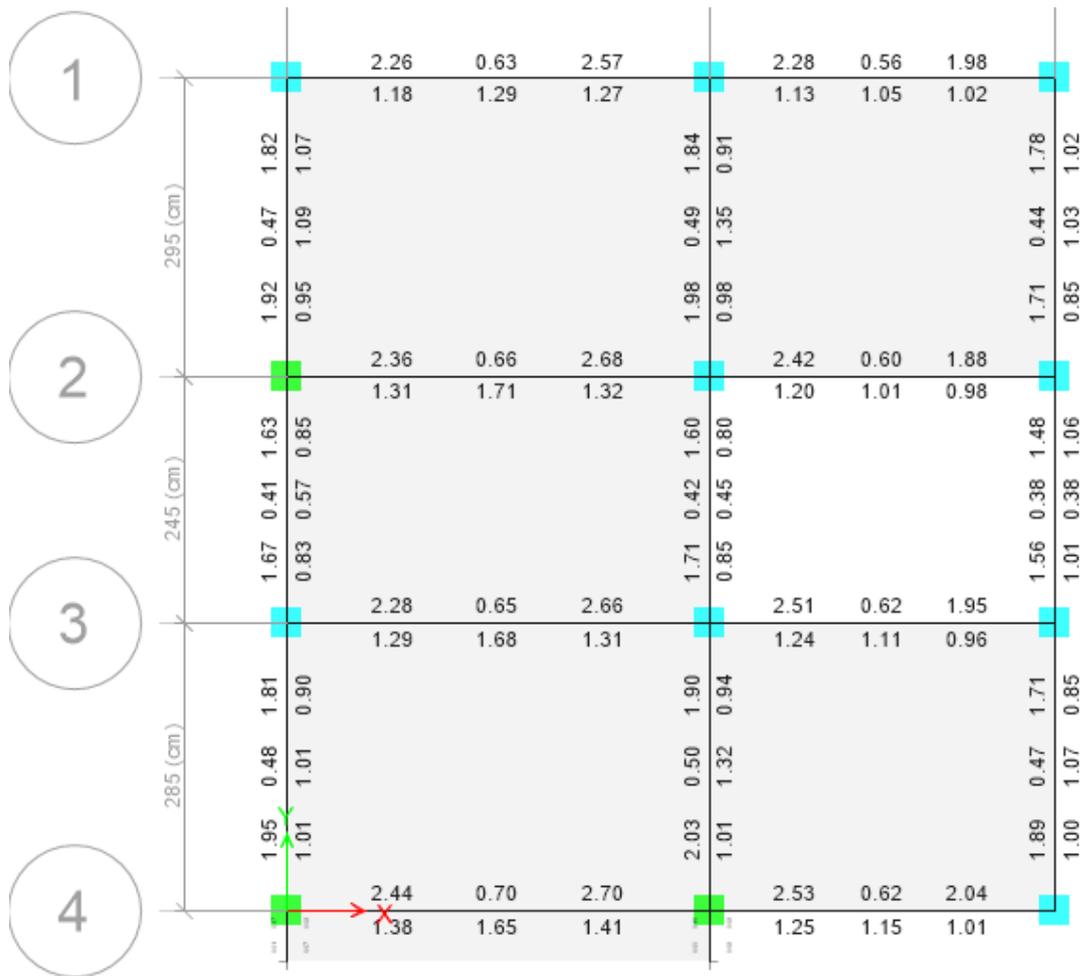
Se puede recalcar que el espectro Determinista supera al espectro de la NEC 2015 tanto en ámbito estático y dinámico, pues la estructura se encuentra en el periodo de vibración en el cual el espectro Determinista supera al NEC 2015 en el intervalo de 0,23 segundos a 0,46 segundos.

#### **4.2.3.2.7. Diseño de la estructura**

Posteriormente se ha realizado un diseño de la estructura para poder comprar la cantidad de acero que se requiere en la estructura, tanto para el espectro propuesto por la NEC 2015 así como el espectro Determinista, en el cual se obtuvo los siguientes resultados.



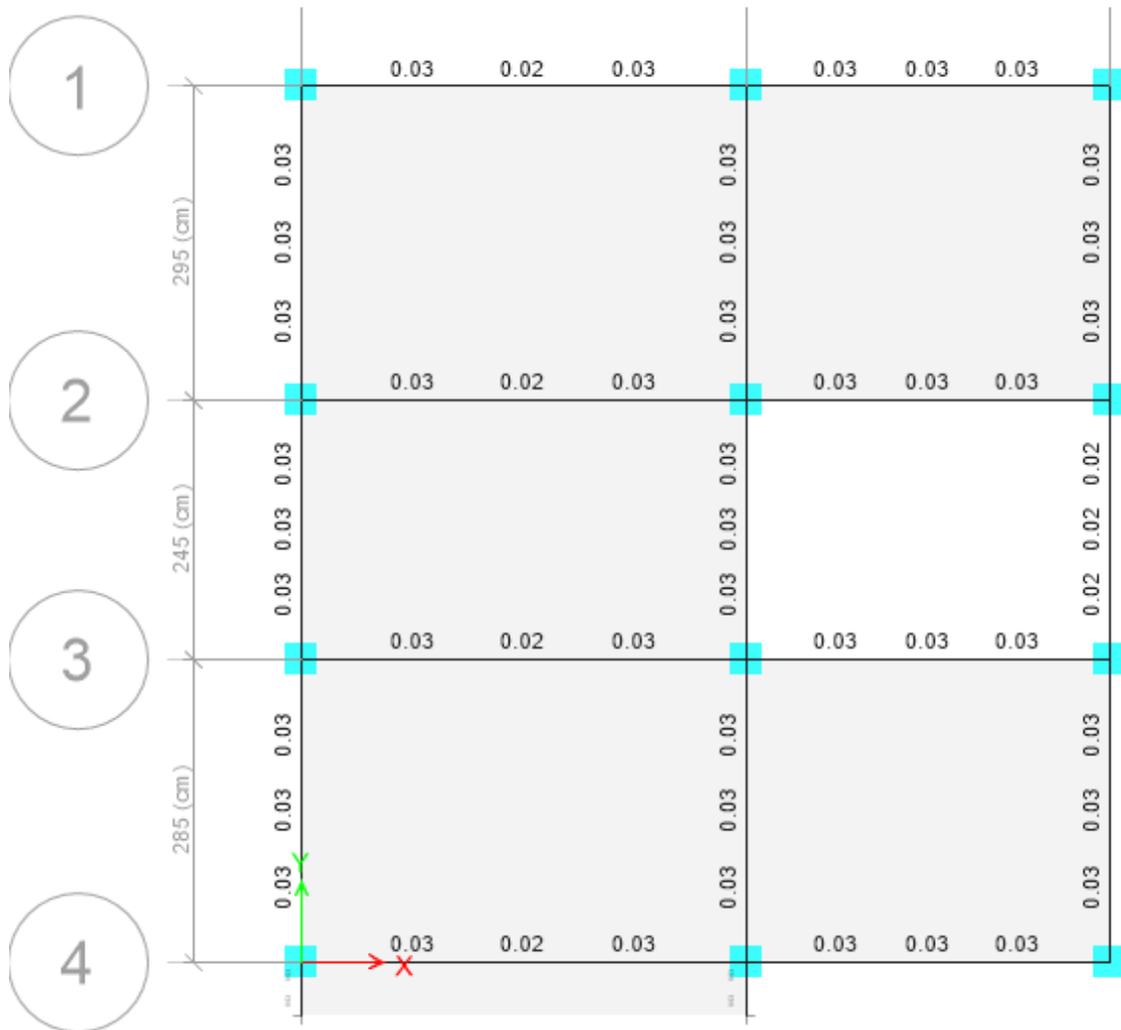
**Figura 85.- Acero Longitudinal Determinista**



**Fuente.- ETABS 2016**

Se puede observar en las figuras 84 y 85 el acero longitudinal en vigas, diseñadas tanto con el espectro de la NEC 2015 como por el espectro Determinista y se puede apreciar que el área de acero aumenta ligeramente para el espectro Determinista, pues es ahí donde la estructura sufre mayores solicitaciones.

**Figura 86.- Acero de Corte NEC 2015**

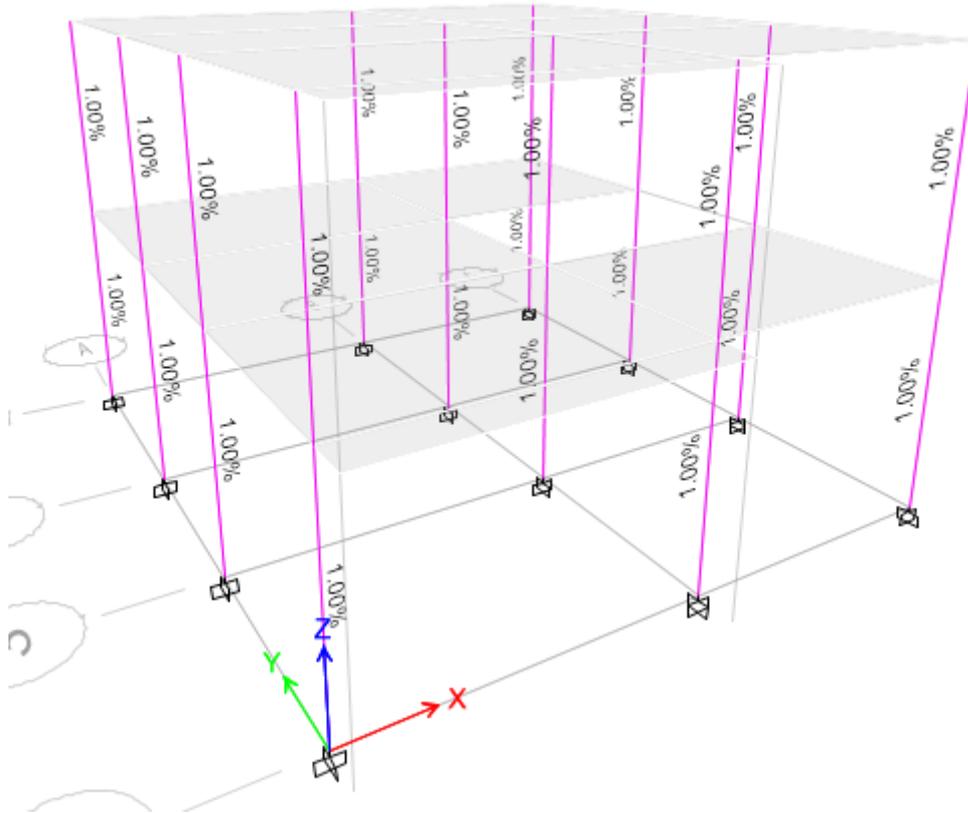


**Fuente.- ETABS 2016**



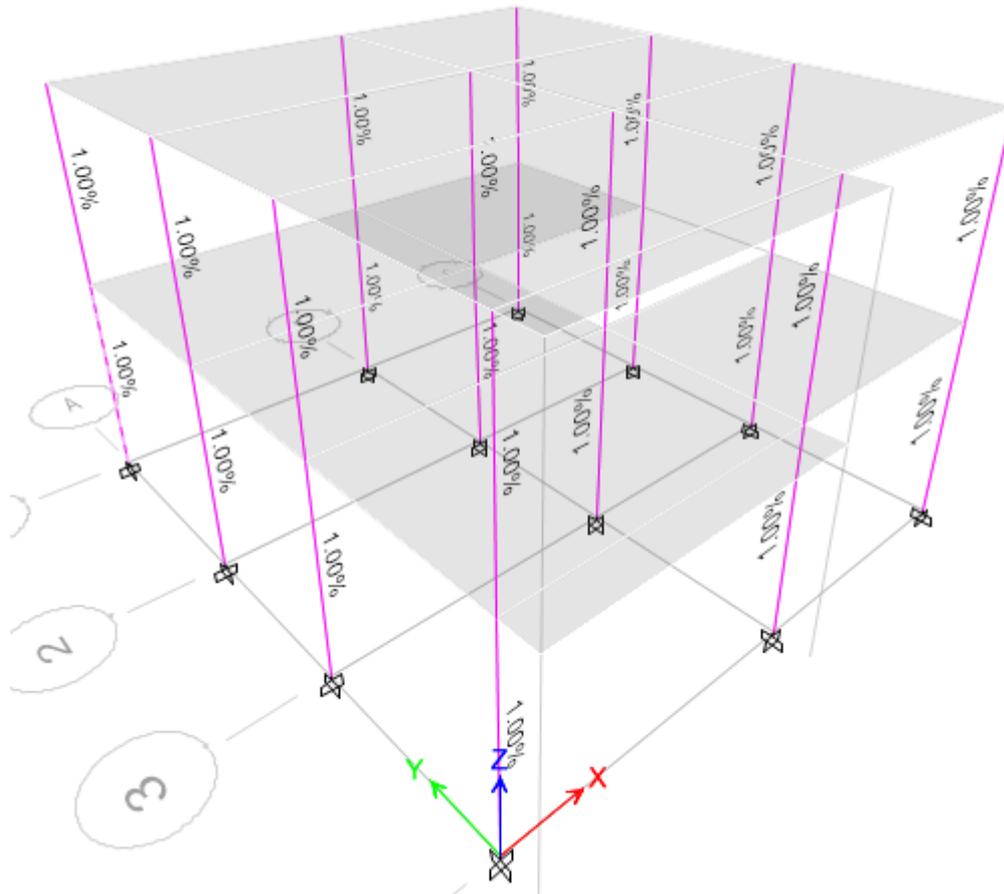
#### 4.2.3.2.7.2. Columnas

**Figura 88.-** Porcentaje de Acero NEC 2015



**Fuente.-** ETABS 2016

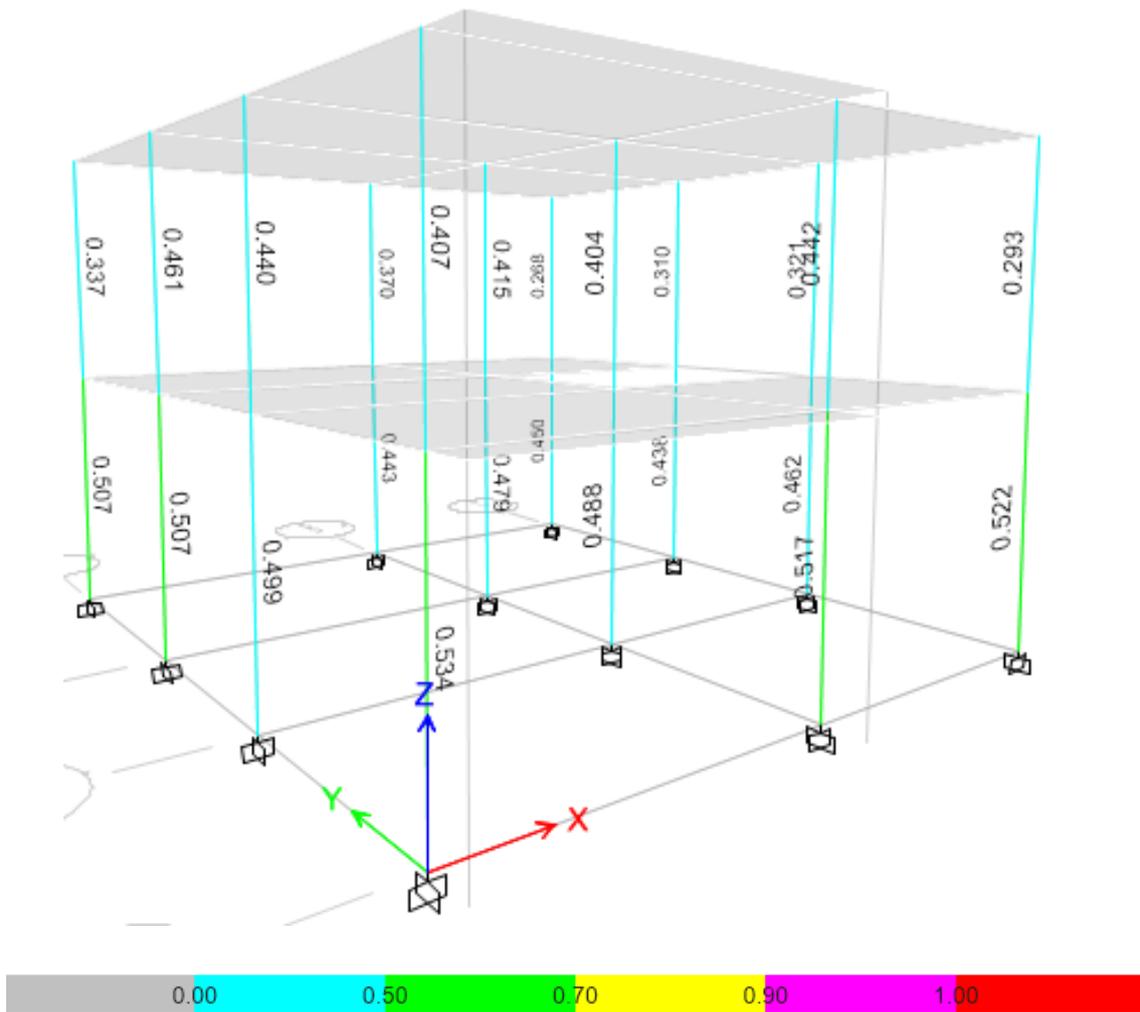
**Figura 89.-** Porcentaje de Acero Determinista



**Fuente.-** ETABS 2016

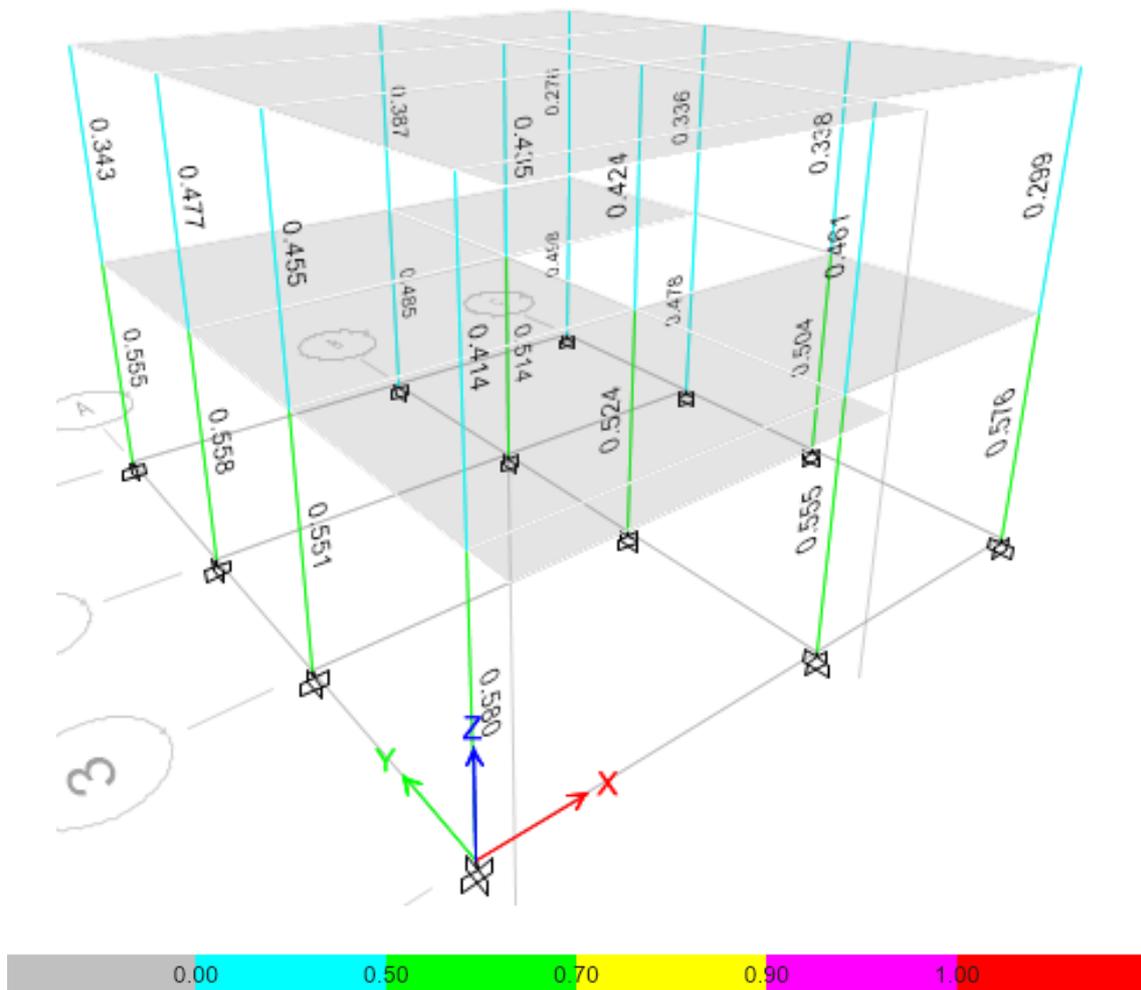
En las figuras 88 y 89 mostradas anteriormente se aprecia el porcentaje de acero para cada columna, como se puede notar tanto para el espectro NEC 2015 como para el espectro Determinista el porcentaje de acero en columnas es de 1,00% lo cual está dentro de lo establecido en la normativa que va del 1 al 3%.

**Figura 90.-** Demanda - Capacidad NEC 2015



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 91.- Demanda - Capacidad Determinista**



**Fuente.- ETABS 2016**

En las figuras 90 Y 91 se ve la demanda – capacidad de las columnas, el cual se ve representada por una serie de colores para una mejor visualización, dichos valores se citan a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 73.- Demanda – Capacidad en Columnas**

Columna	Demanda - Capacidad	
	NEC 2015	Determinista
<b>Nv + 0,00 - Nv + 2,88</b>		
A1	0.507	0.555
A2	0.507	0.558
A3	0.499	0.551
A4	0.534	0.580
B1	0.443	0.485
B2	0.479	0.514
B3	0.488	0.524
B4	0.517	0.555
C1	0.450	0.498
C2	0.438	0.478
C3	0.462	0.504
C4	0.522	0.576
<b>Nv + 2,88 - Nv + 5,58</b>		
A1	0.337	0.343
A2	0.461	0.477
A3	0.440	0.455
A4	0.407	0.414
B1	0.370	0.387
B2	0.415	0.435
B3	0.404	0.424
B4	0.442	0.461
C1	0.268	0.276
C2	0.310	0.336
C3	0.321	0.338
C4	0.293	0.299

**Fuente.- ETABS 2016**

En las figuras 90 y 91, así como en la tabla 73 se observa los valores de Demanda-Capacidad de las columnas, en lo cual se destaca que para el espectro Determinista presenta mayores valores, esto se debe principalmente a que las demandas para dicho espectro es mayor a las demandas del espectro NEC 2015, sin embargo cabe destacar que en ninguno de los dos casos este valor sobre pasa a 1 que es el límite máximo que se puede asignar a una estructura.

### 4.2.3.3. Estructura de 1 piso

#### 4.2.3.3.1. Características de la edificación

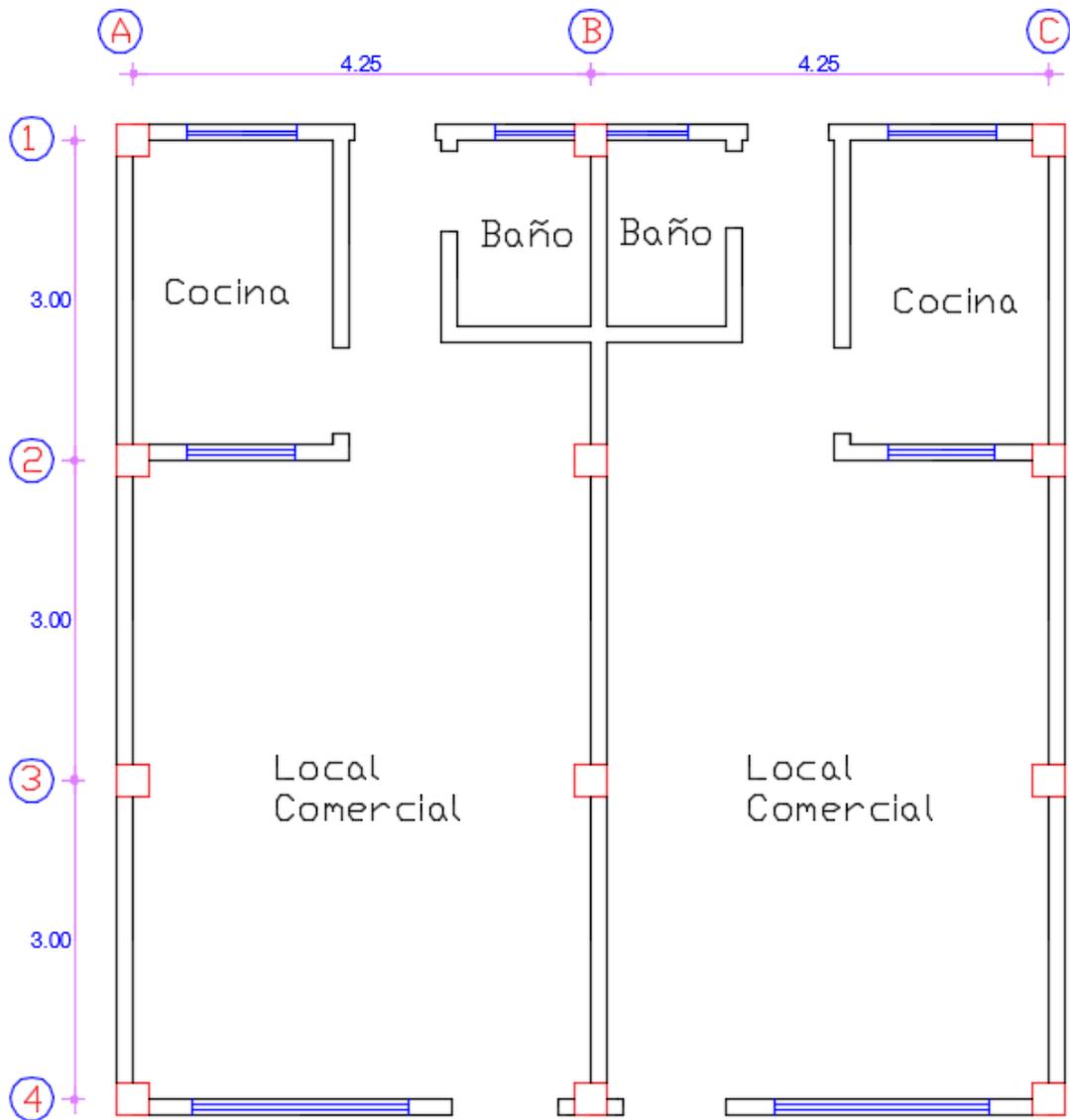
La vivienda seleccionada es de 1 piso, siendo este tipo de edificaciones las que se encuentran en gran cantidad en el área de estudio, pues se puede observar la influencia del espectro determinista es estructuras de períodos cortos.

**Tabla 74.-** Características estructurales de la edificación

<b>Indicador</b>	<b>Característica</b>
Sistema resistente a carga lateral	Pórtico de hormigón armado
Distribución geométrica en planta	Irregular
Distribución geométrica en elevación	Regular
Altura de entrepiso	2,90m
Resistencia del concreto	$f_c=240 \text{ kg/cm}^2$
Límite de fluencia del acero	$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$
Sección de columnas	30cm x 30cm
Recubrimiento en columnas	3cm
Sección de vigas	30cm x 30cm
Recubrimiento en vigas	3cm
Tipo de losa	Nervada
Espesor de losa	20 cm
Ancho de nervios	10 cm

**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 92.-** Plano arquitectónico



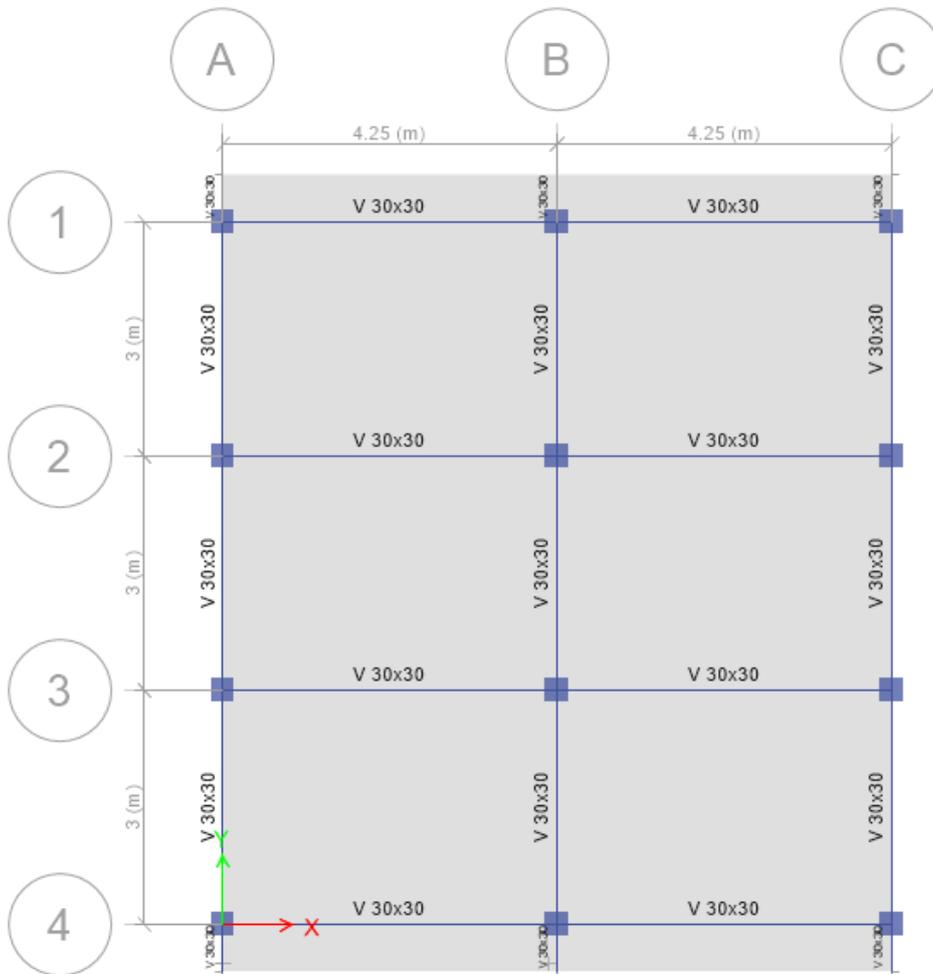
**Fuente.-** Sarango Damián

**Figura 93.-** Modelado estructural de la edificación



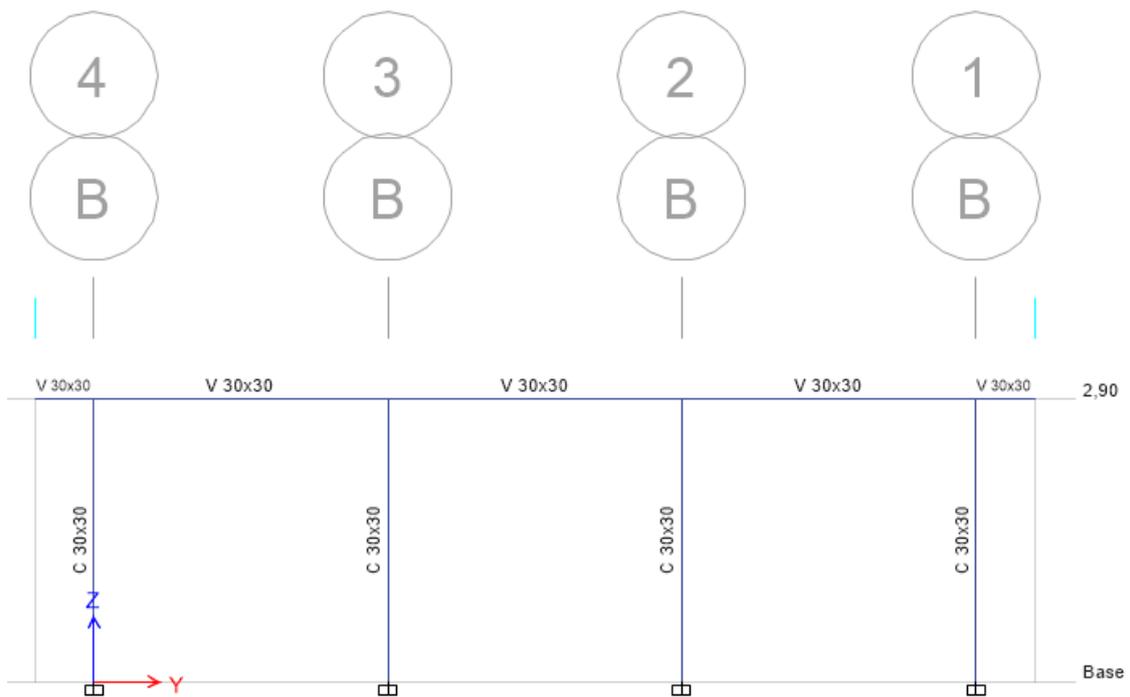
**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 94.-** Vista en planta de la edificación Nv: 0 + 2,90m



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 95.-** Vista en elevación de la edificación



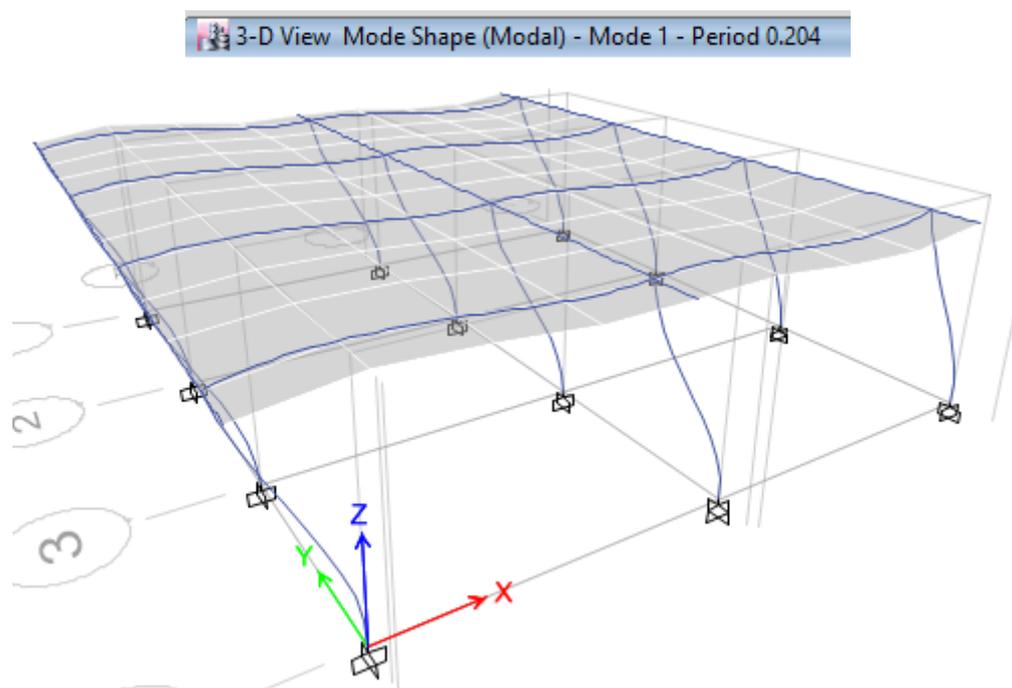
**Fuente.-** ETABS 2016

## **Análisis de lineal de la edificación**

### **4.2.3.3.2. Determinación del período de vibración fundamental**

En el modelado de ETABS 2016 se obtuvo un período de vibración fundamental de  $T_a=0,20\text{seg}$ , con el que se obtendrá parámetros para el análisis de cortante basal.

**Figura 96.-** Período de vibración fundamental



**Fuente.-** ETABS 2016

#### 4.2.3.3.3. Determinación de los modos de vibración

Para el cálculo de los modos de vibración se usarán las siguientes formulas.

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Traslacional}$$

$$\frac{Rz}{Ux \text{ ó } Uy} \leq 30\% \quad \text{Torsional}$$

**Tabla 75.-** Porcentaje de torsión para los primeros tres modos de vibración

Modo	Rz	Ux o Uy	% Torsión	Comportamiento
1	0	0.9999	0%	Traslacional
2	0	0.9999	0%	Traslacional
3	1	0.0001	1000000%	Torsional

**Fuente.-** ETABS 2016

De la tabla anterior se puede apreciar que los primeros 2 modos de vibración tienen un porcentaje menor al 30% por lo que presentan un comportamiento traslacional, mientras el tercer modo presenta un comportamiento torsional.

#### 4.2.3.3.4. Cortante Basal Estático

Utilizando las formulas provistas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción obtenemos:

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$V = CB * W$$

El coeficiente basal CB será calculado para cada uno de los espectros. En la siguiente tabla se muestran los valores ligados para el cálculo del coeficiente basal.

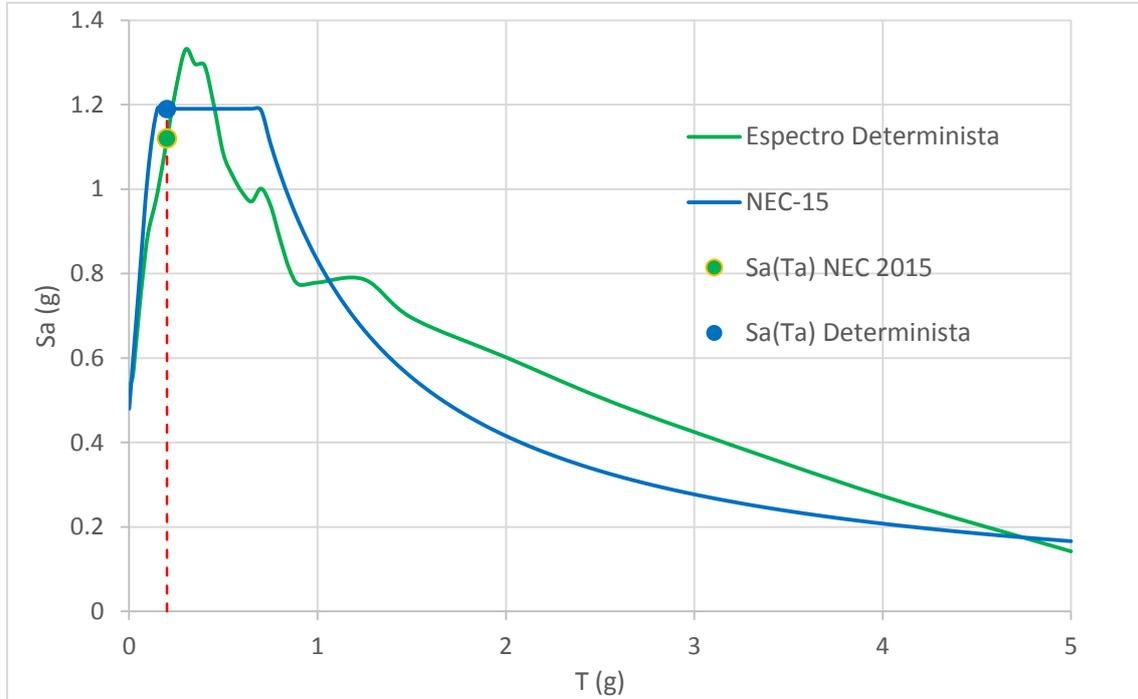
**Tabla 76.-** Variables para el cálculo del coeficiente basal

COEFICIENTE	CATEGORIA	VALOR
I (Coeficiente de Importancia)	Otras estructuras	1
R (Factor de reducción de resistencia sísmica)	Pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas	8
$\phi_p$ (Coeficiente de configuración en planta)	Irregular	0.9
$\phi_e$ (Coeficiente de configuración en elevación)	Regular	1

Fuente.- NEC 2015

Para determinar la aceleración con la que el espectro tanto de la NEC 2015 como determinista demanda a la estructura utilizaremos la siguiente gráfica, junto con el valor del período de vibración de la estructura.

**Figura 97.-** Determinación de  $Sa(Ta)$



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura anterior se observa que la aceleración espectral  $Sa(Ta)$  es de 1,1904g para el espectro de la NEC 2015 y 1,118g para el espectro Determinista, los mismos que servirán para el cálculo del coeficiente basal.

**Coficiente Basal espectro NEC 2015**

$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,1904}{8 * 1 * 1}$$

$$CB = 0,1488$$

### Coefficiente Basal espectro Determinista

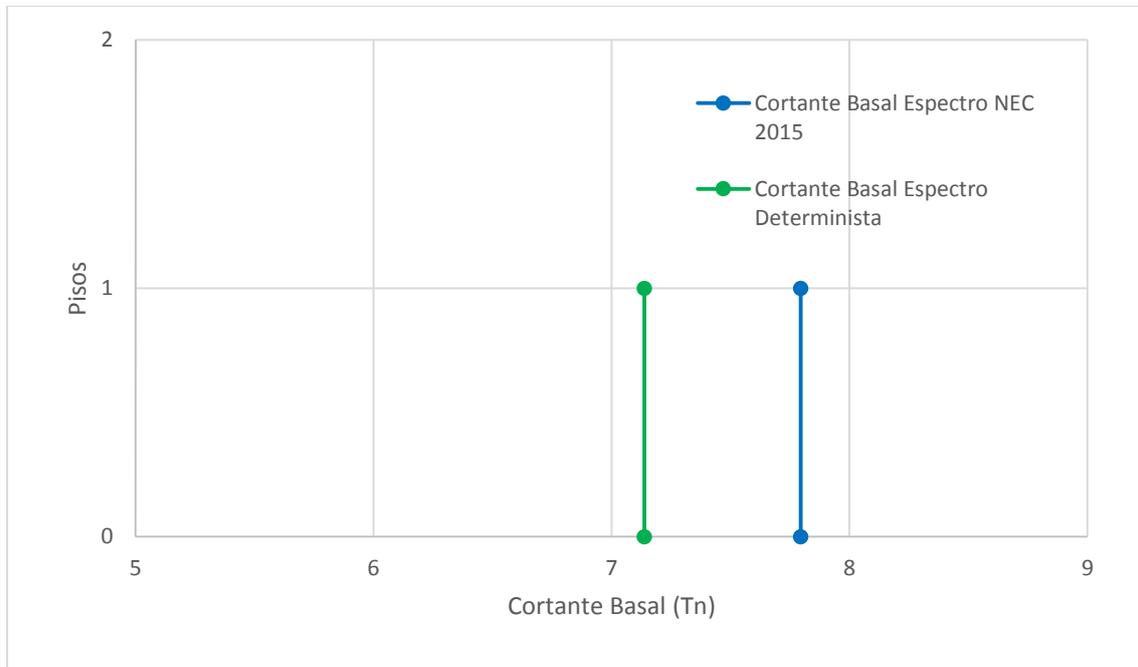
$$CB = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$CB = \frac{1 * 1,118}{8 * 1 * 1}$$

$$CB = 0,1398$$

Mediante el coeficiente basal se podrá obtener valores de cortante que se aplican en la base de la estructura con su respectiva distribución en elevación.

**Figura 98.-** Distribución de Cortante Basal Espectro NEC 2015 y Determinista



**Elaboración.-** Sarango Damián

En la figura 98 se puede observar que la distribución de cortante basal de la estructura es de 7.80Tn para el espectro de la NEC 2015 y 7.14Tn para el espectro Determinista en sus dos direcciones principales; la diferencia de valores se debe a la disminución de aceleraciones que presenta el espectro Determinista para estructuras con períodos menores de 0,23seg; como la estructura presenta un período de vibración fundamental de 0,20 segundos la aceleración espectral provocada por el espectro Determinista genera

menores solicitaciones de cortante basal que las generadas por el espectro de la NEC 2015.

#### 4.2.3.3.5. Cortante Basal Dinámico

Se deben conocer los modos de vibración que involucren la participación modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en las direcciones horizontales principales. [6]

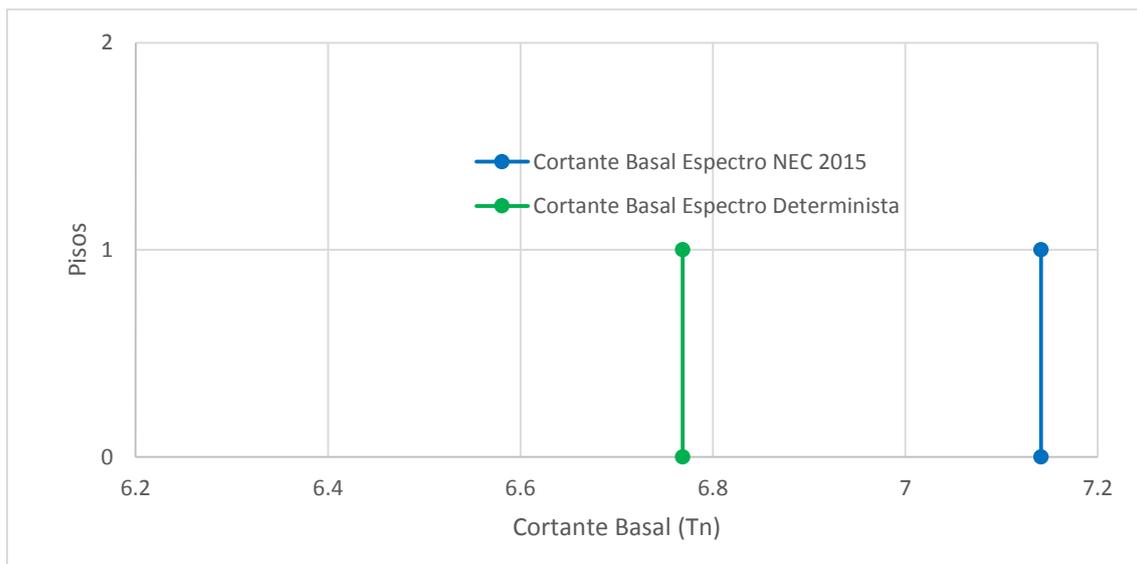
**Tabla 77.-** Porcentaje de participación modal de la masa

Modo de vibración	Período (s)	% de participación de la masa		% de participación de la masa acumulada	
		Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.204	99.99%	0%	99.99%	0%
2	0.199	0.01%	99.99%	100%	100%
3	0.179	0%	0.01%	100%	100%

**Fuente.-** ETABS 2016

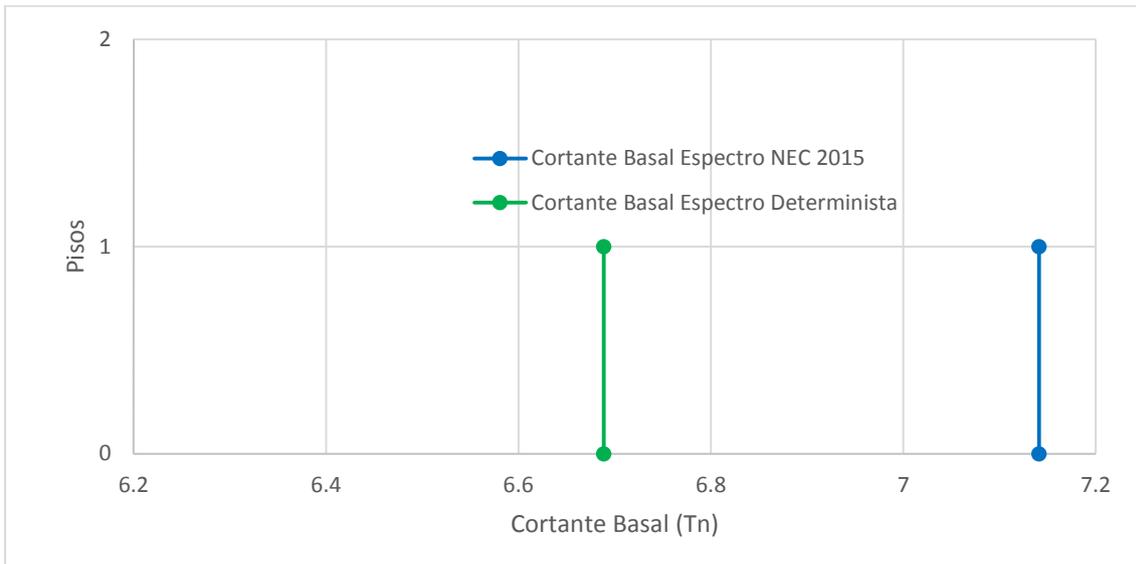
La participación modal de la masa cumple los requisitos de la NEC 2015 pues en el sentido “X” alcanza un porcentaje de acumulación de 100% en el primer modo de vibración mientras que en el sentido “Y” se alcanza un porcentaje de participación modal acumulada de 100% a partir de segundo modo de vibración.

**Figura 99.-** Cortante Basal Dinámico Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 100.-** Cortante Basal Dinámico Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras 99 y 100 se observa que igualmente que el análisis estático, la distribución de cortante es menor para el espectro Determinista, tanto para el sentido “X” con 6.77Tn y en el sentido “Y” con 6.68Tn mientras que el espectro NEC genera cortantes de 7.14Tn para el sentido “X” y “Y”; confirmando la inferioridad de solicitaciones de cortante producidas por el espectro Determinista para este tipo de edificaciones.

Con los valores obtenidos en las figuras 98, 99 y 100, se puede realizar la comprobación de los requerimientos para cortante basal establecido en la norma, donde:

$$V_D \geq 80\% V_E \text{ (estructuras regulares)}$$

$$V_D \geq 85\% V_E \text{ (estructuras irregulares)}$$

**Tabla 78.- Ajuste de Cortante Basal NEC 2015**

<b>NORMA ECUATORIA DE LA CONSTRUCCIÓN 2015</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 2,90	7.14	7.80	91.52%	Cumple
Nv + 0,00	7.14	7.80	91.52%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 2,90	7.14	7.80	91.52%	Cumple
Nv + 0,00	7.14	7.80	91.52%	Cumple

**Fuente.- ETABS 2016**

**Tabla 79.- Ajuste de Cortante Basal Determinista**

<b>DETERMINISTA</b>				
<b>Nivel</b>	<b>V Dinámico (Tn)</b>	<b>V Estático (Tn)</b>	<b>VD / VE</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Sentido "X"</b>				
Nv + 2,90	6.77	7.14	94.82%	Cumple
Nv + 0,00	6.77	7.14	94.82%	Cumple
<b>Sentido "Y"</b>				
Nv + 2,90	6.68	7.14	93.56%	Cumple
Nv + 0,00	6.68	7.14	93.56%	Cumple

**Fuente.- ETABS 2016**

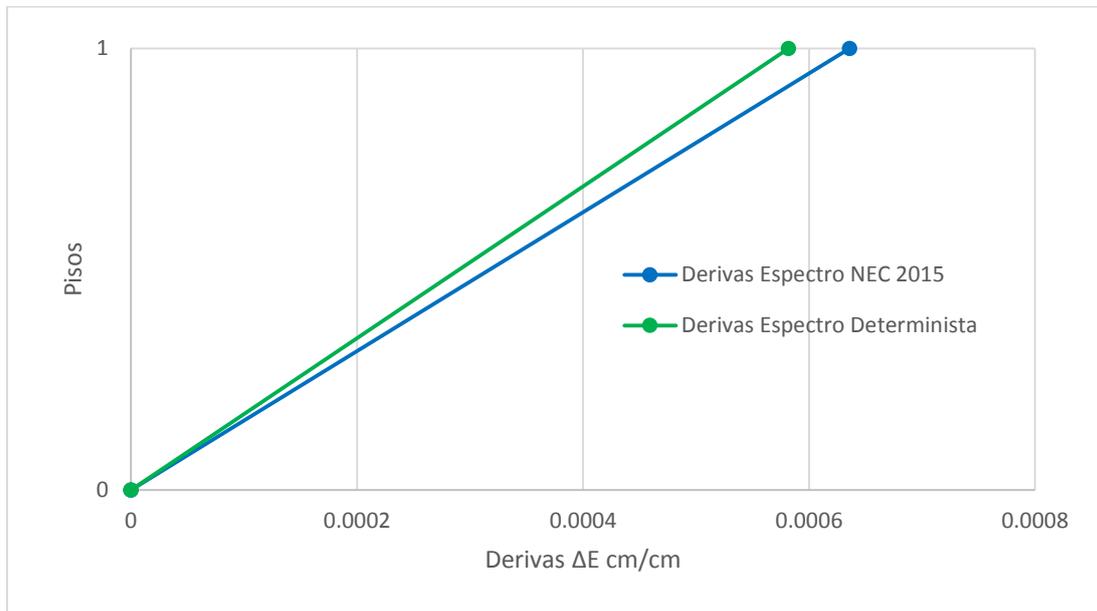
En las tablas 78 y 79 se puede apreciar que se cumple lo señalado por la norma tanto para el espectro de la NEC 2015 y el espectro Determinista; en el sentido “X” y sentido en el “Y”

#### **4.2.3.3.6. Análisis de Derivas**

A continuación se realizará el análisis de derivas tanto elásticas como inelásticas en las principales direcciones de la estructura mediante el uso de ambos espectros; tanto el espectro propuesto por la NEC 2015, así como el espectro Determinista; la normativa nos da a conocer que el valor máximo de deriva inelásticas no debe ser mayor de 2% para edificios de hormigón.

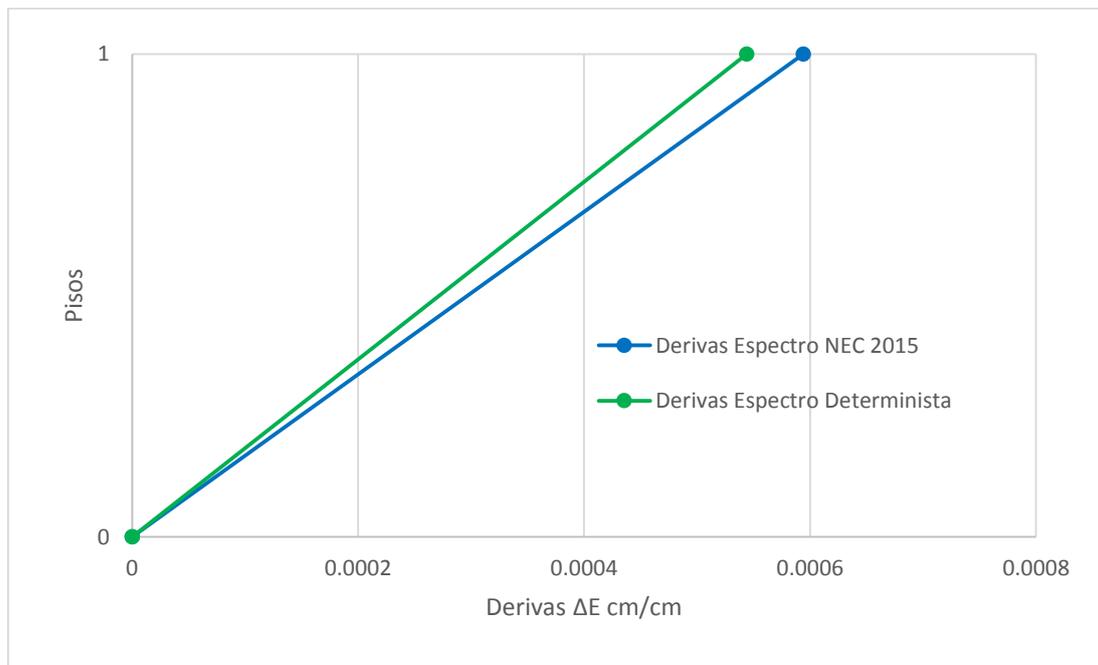
#### 4.2.3.3.6.1. Derivas causadas por Cortantes Estáticas

**Figura 101.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 102.-** Derivas Causadas por Cortantes Estáticas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras 101 y 102 se aprecian las derivas elásticas producidas por fuerzas de diseño reducidas, pero la Norma Ecuatoriana de la Construcción nos pide una verificación con las derivas inelásticas; para lo cual se ocupara la fórmula de la NEC 2015.

En las siguientes tablas se procederá a calcular las derivas inelásticas de las cortantes causadas por cortantes estáticas tanto en el sentido X como en el sentido Y.

**Tabla 80.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelastica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.000636	0.000594	0.003816	0.003564
0	0	0	0	0

Fuente.- Sarango Damián

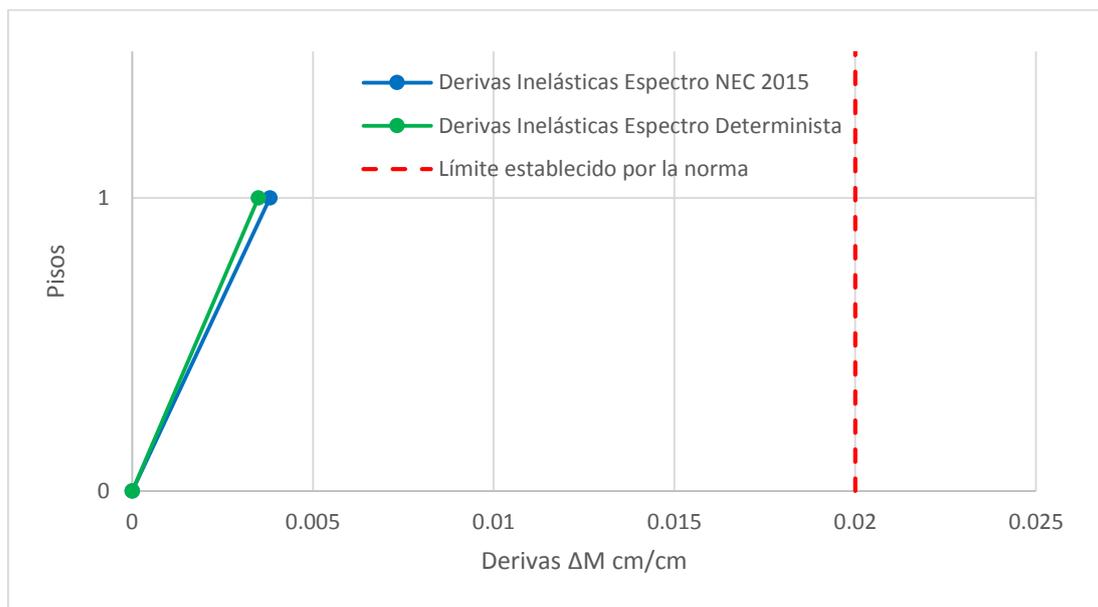
**Tabla 81.-** Derivas Inelásticas Espectro Determinista

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelastica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.000582	0.000544	0.003492	0.003264
0	0	0	0	0

Fuente.- Sarango Damián

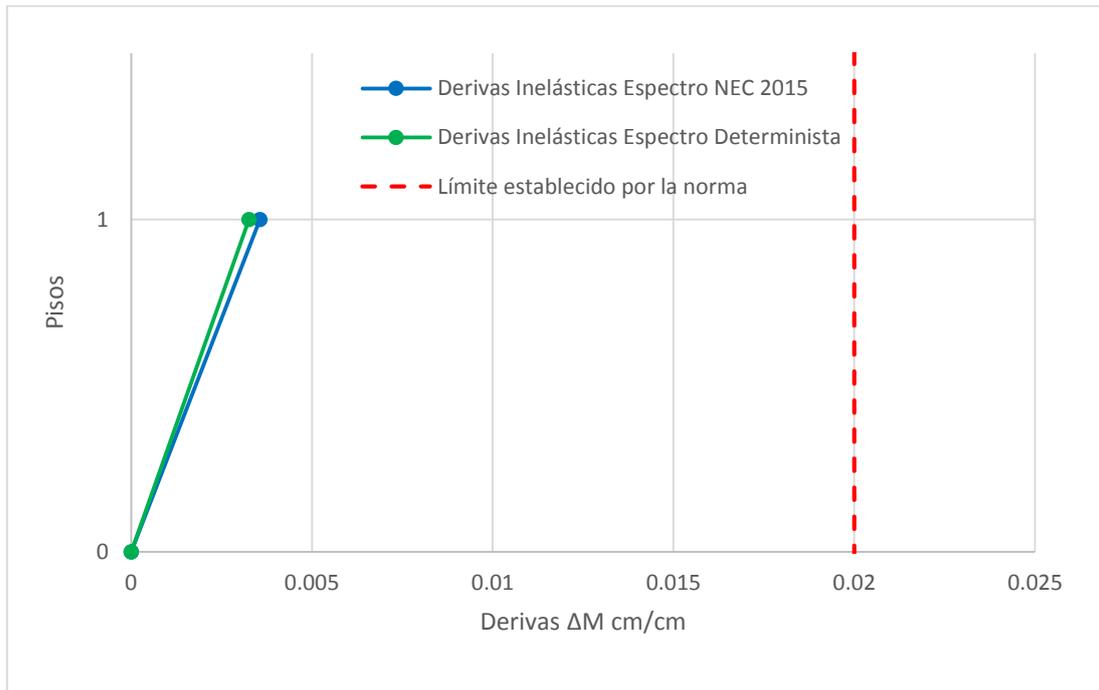
Los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se muestran a continuación, donde se detallas las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la normativa

**Figura 103.-** Derivas Inelásticas Sentido X



Elaboración.- Sarango Damián

**Figura 104.- Derivas Inelásticas Sentido Y**

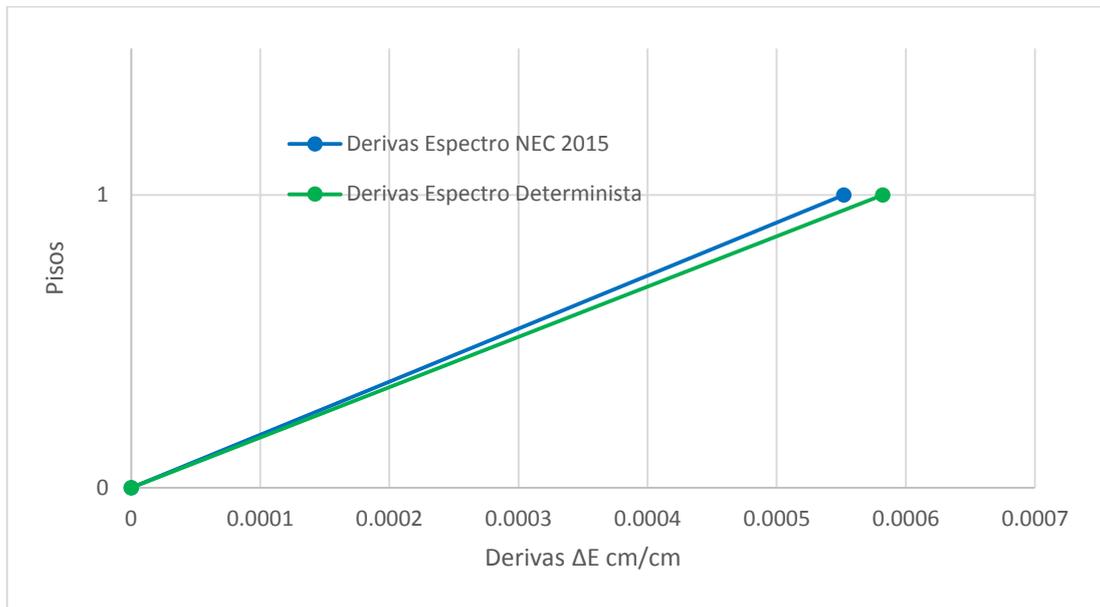


**Elaboración.-** Sarango Damián

Como se puede observar en las figuras 103 y 104, las derivas inelásticas no superan el límite establecido por la normativa tanto para el espectro proporcionado por la NEC 2015 así como por el espectro Determinista en ninguna de sus direcciones principales, señalando que el espectro de la normativa provoca mayores derivas inelásticas en la estructura.

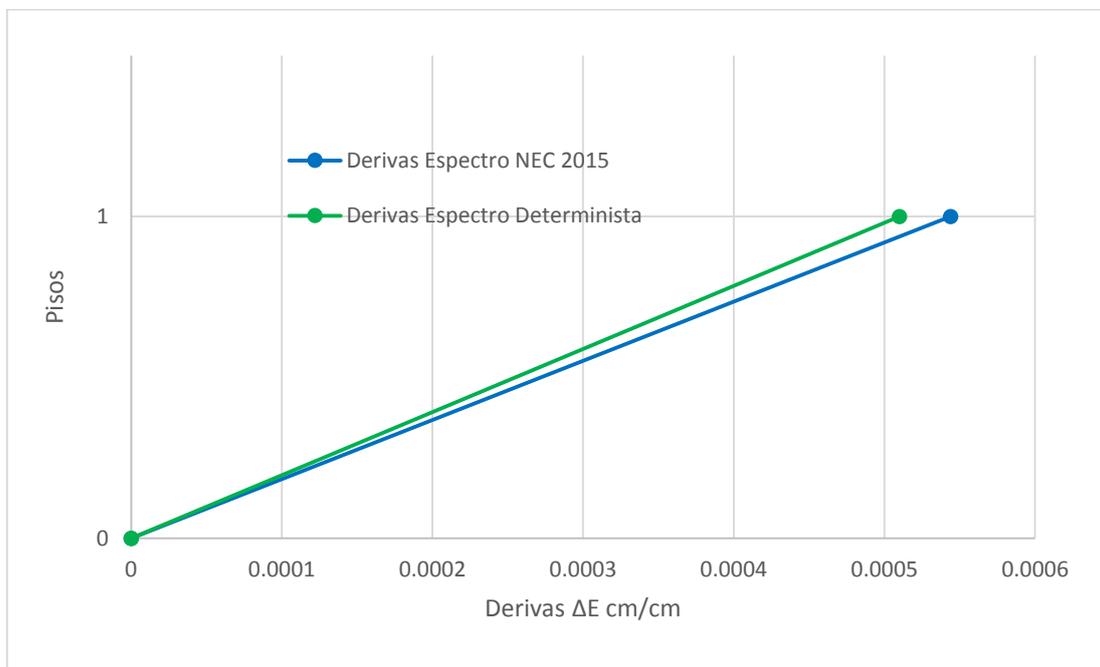
#### 4.2.3.3.6.2. Derivas causadas por Cortantes Dinámicas

**Figura 105.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 106.-** Derivas Causadas por Cortantes Dinámicas Sentido Y



**Elaboración.-** Sarango Damián

En las figuras anteriores se aprecia como el espectro Determinista provoca menores derivas que el espectro de la NEC 2015; de igual manera que las derivas causadas por cortantes estáticas aquí también será necesario verificar que las derivas inelásticas no sobrepasen al límite proporcionado por la norma.

**Tabla 82.-** Derivas Inelásticas Espectro NEC 2015

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelastica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.000552	0.000544	0.003312	0.003264
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

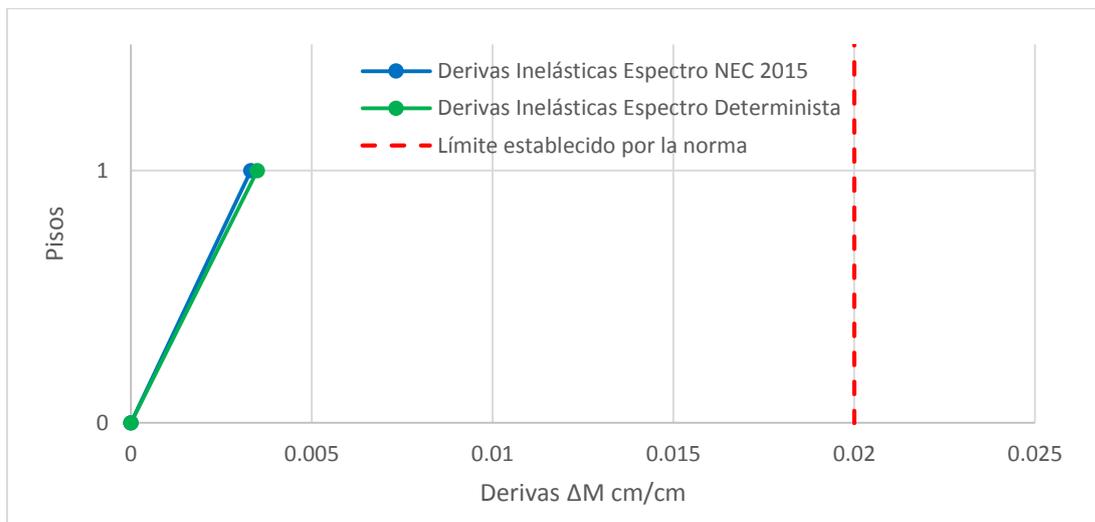
**Tabla 83.-** Derivas Inelásticas Espectro Determinista

Piso	Deriva $\Delta E$		Deriva Inelastica $\Delta M$	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
1	0.000544	0.00051	0.003264	0.00306
0	0	0	0	0

**Fuente.-** Sarango Damián

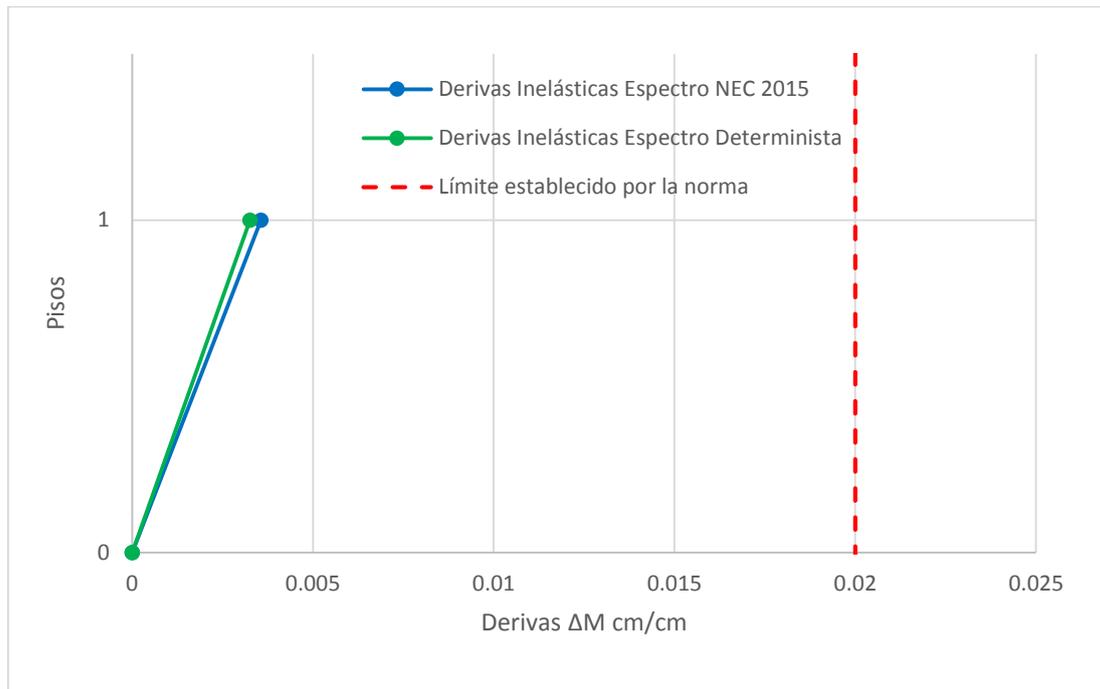
Los resultados obtenidos en las tablas 82 y 83, se muestran a continuación, donde se detallas las derivas inelásticas y el límite máximo establecido en la normativa.

**Figura 107.-** Derivas Inelásticas Sentido X



**Elaboración.-** Sarango Damián

**Figura 108.- Derivas Inelásticas Sentido Y**



**Elaboración.- Sarango Damián**

Como se ven en las dos figuras anteriores las derivas producidas por el espectro Determinista no superan a las derivas producidas por el espectro NEC 2015, pudiendo señalar que las derivas inelásticas no superan al límite establecido en la normativa en ninguno de los dos sentidos, tanto como para el espectro Determinista y el espectro de la NEC 2015.

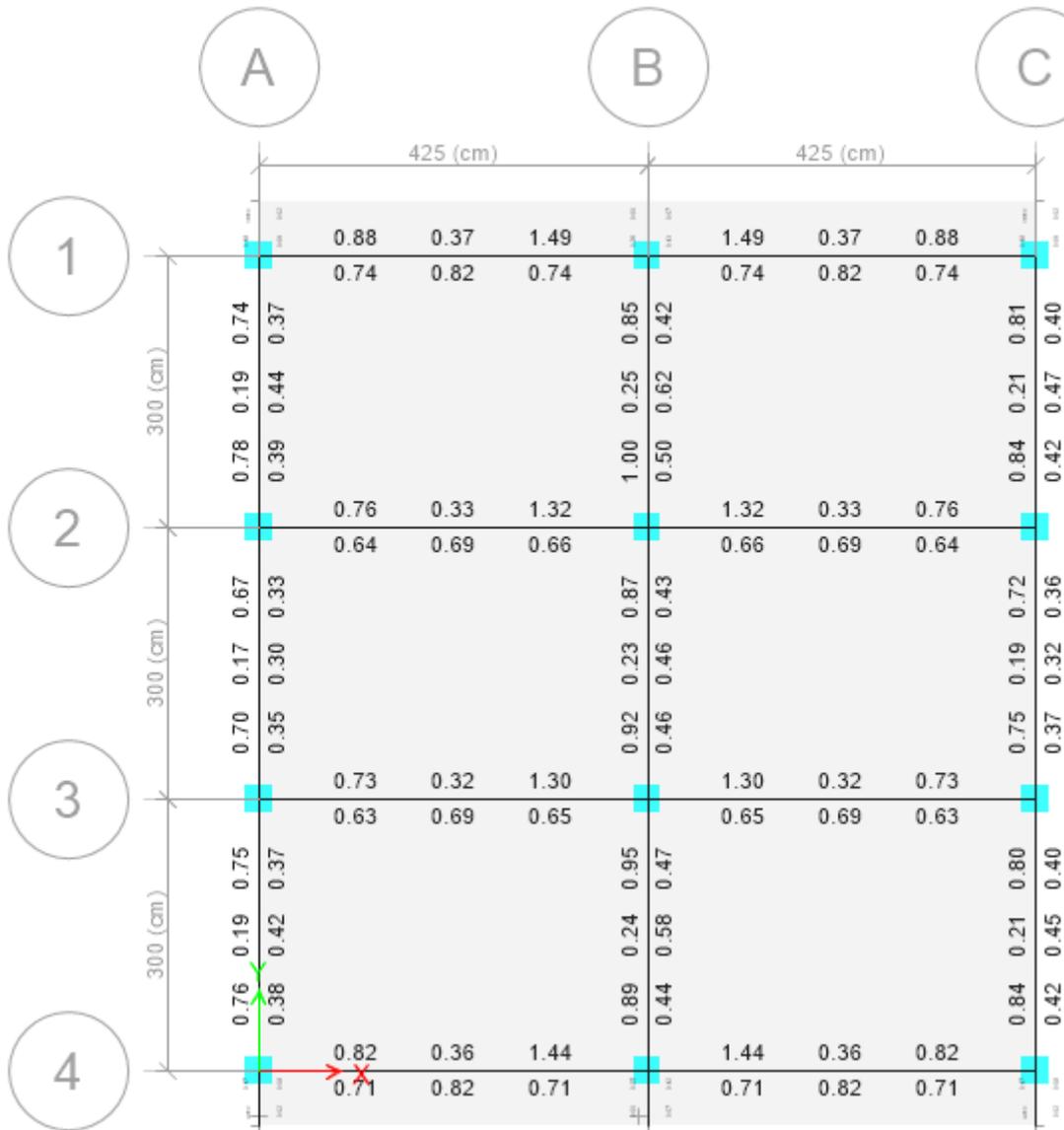
Se puede recalcar que el espectro Determinista no supera al espectro de la NEC 2015 tanto en ámbito estático y dinámico, pues las estructura se encuentra en el periodo de vibración en el cual el espectro Determinista es menor a la NEC 2015 en el intervalo menor de 0,23 segundos.

#### **4.2.3.3.7. Diseño de la estructura**

Posteriormente se ha realizado un diseño de la estructura para poder comprar la cantidad de acero que se requiere en la estructura, tanto para el espectro propuesto por la NEC 2015 así como el espectro Determinista, en el cual se obtuvo los siguientes resultados.

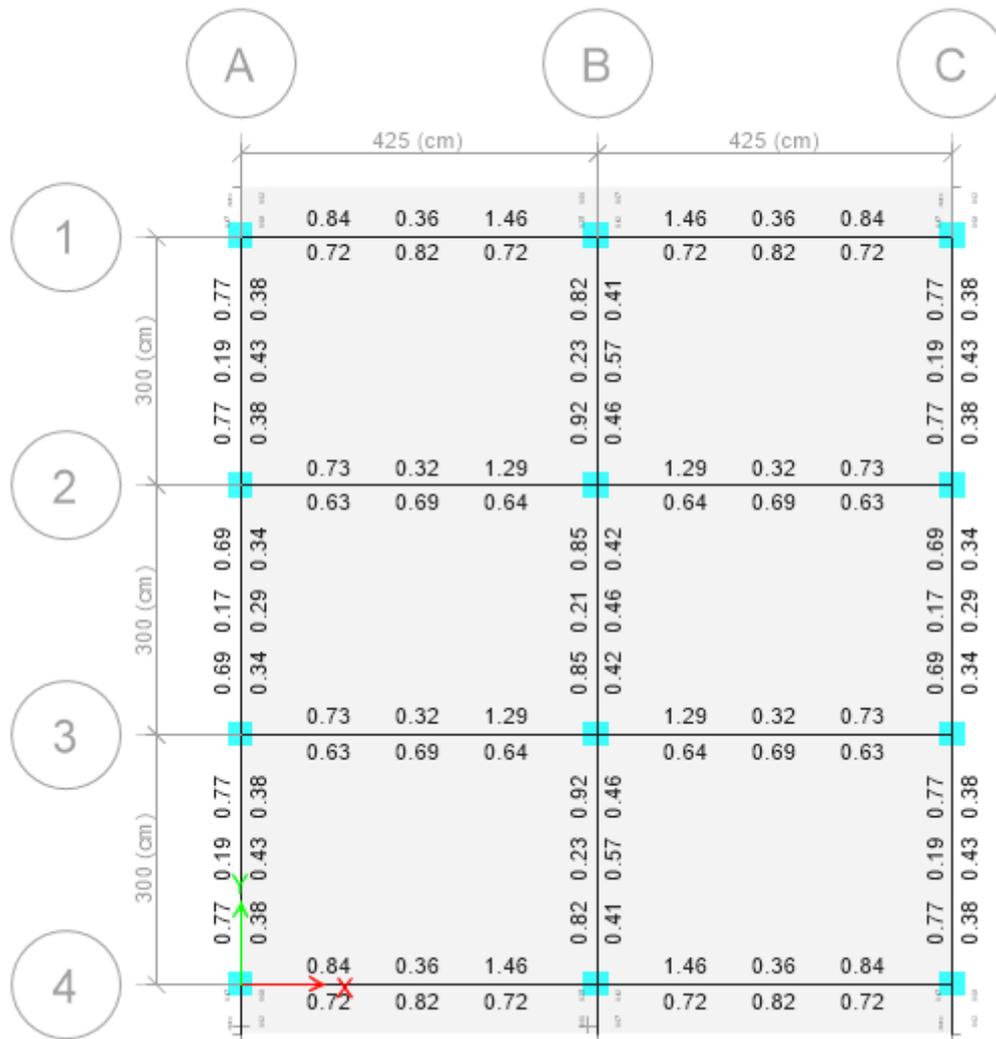
4.2.3.3.7.1. Vigas

Figura 109.- Acero Longitudinal NEC 2015



Fuente.- ETABS 2016

**Figura 110.- Acero Longitudinal Determinista**

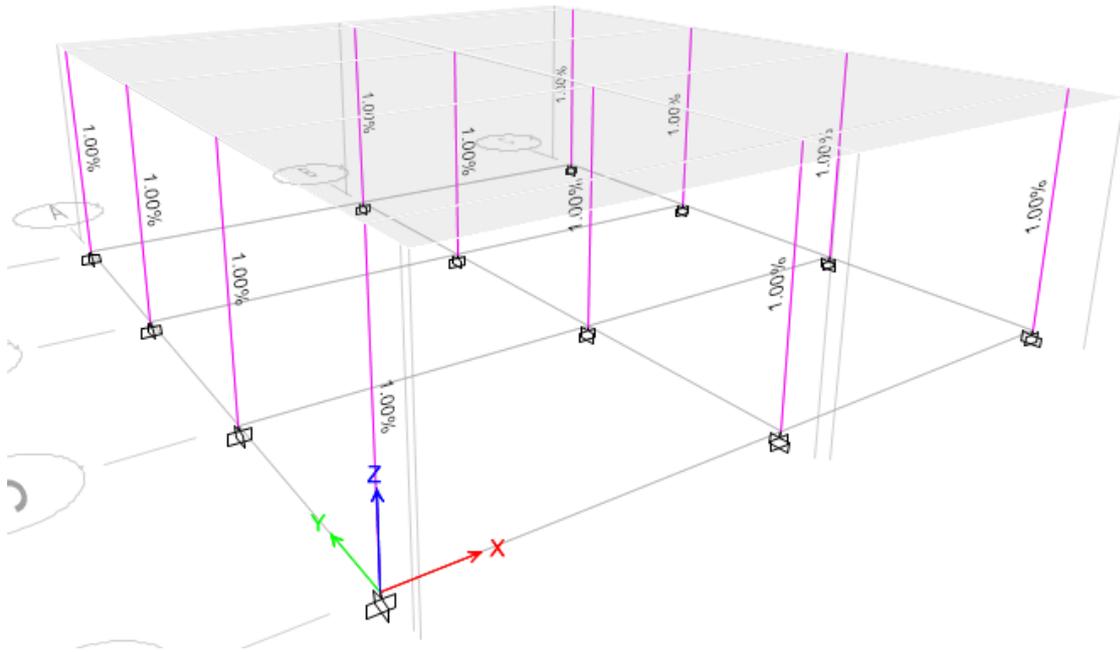


**Fuente.- ETABS 2016**

Se puede observar en las figuras 109 y 110 el acero longitudinal en vigas, diseñadas tanto con el espectro de la NEC 2015 como por el espectro Determinista y se puede apreciar que el área de acero disminuye ligeramente para el espectro Determinista, sin embargo para el armado se lo realiza con el acero mínimo.

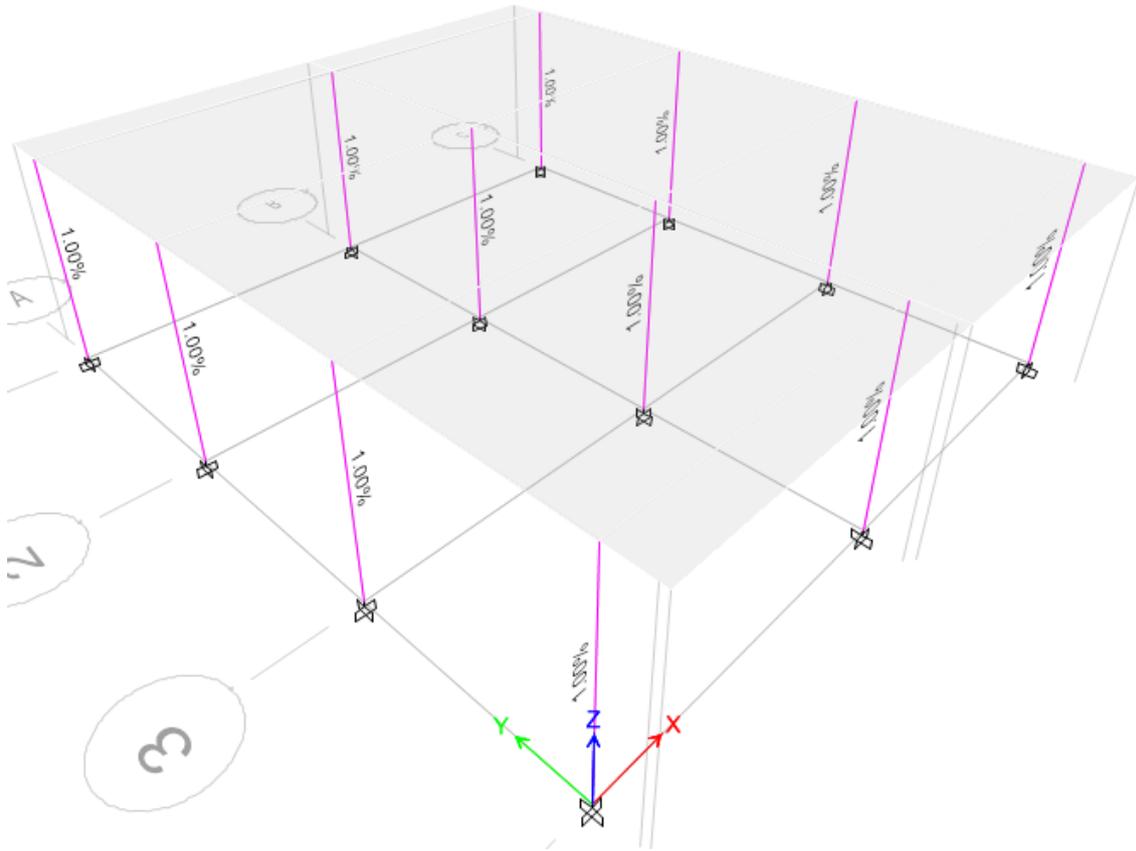
#### 4.2.3.3.7.2. Columnas

**Figura 111.-** Porcentaje de Acero NEC 2015



**Fuente.-** ETABS 2016

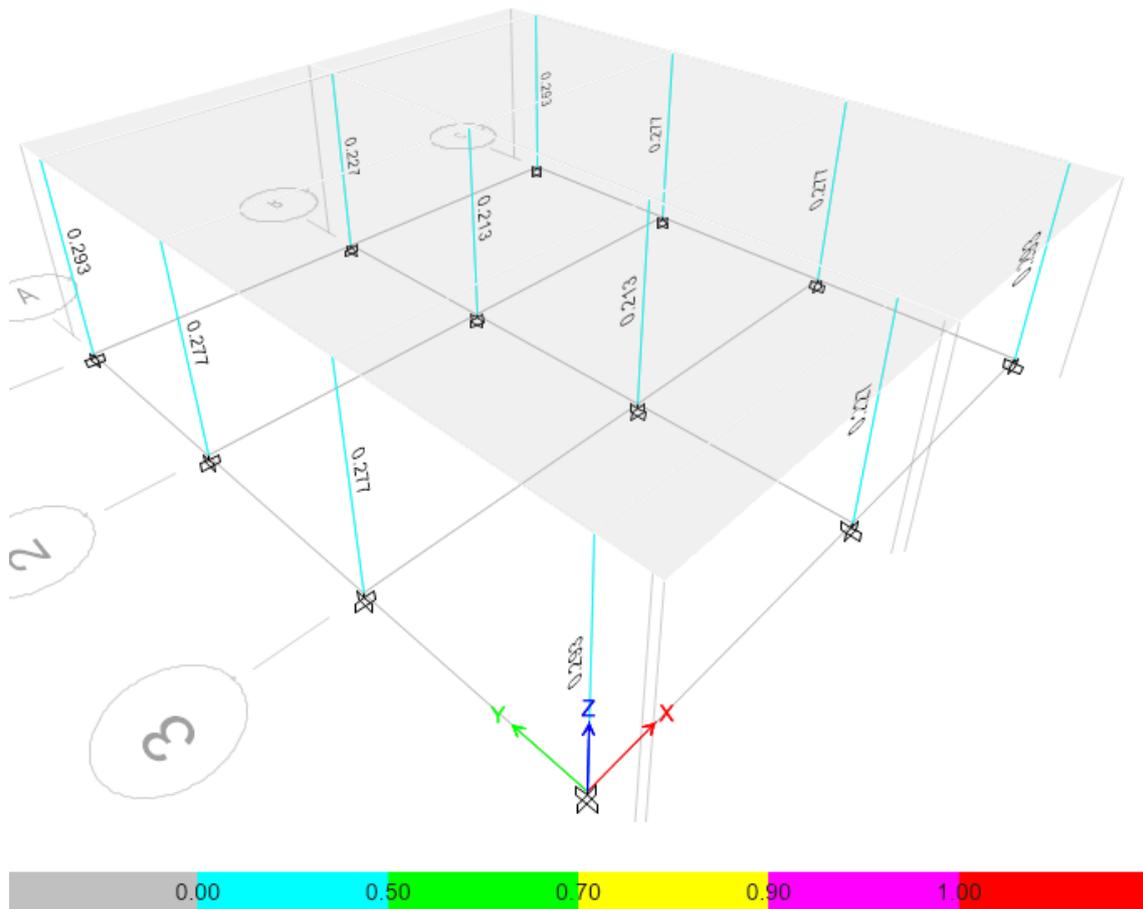
**Figura 112.-** Porcentaje de Acero Determinista



**Fuente.-** ETABS 2016

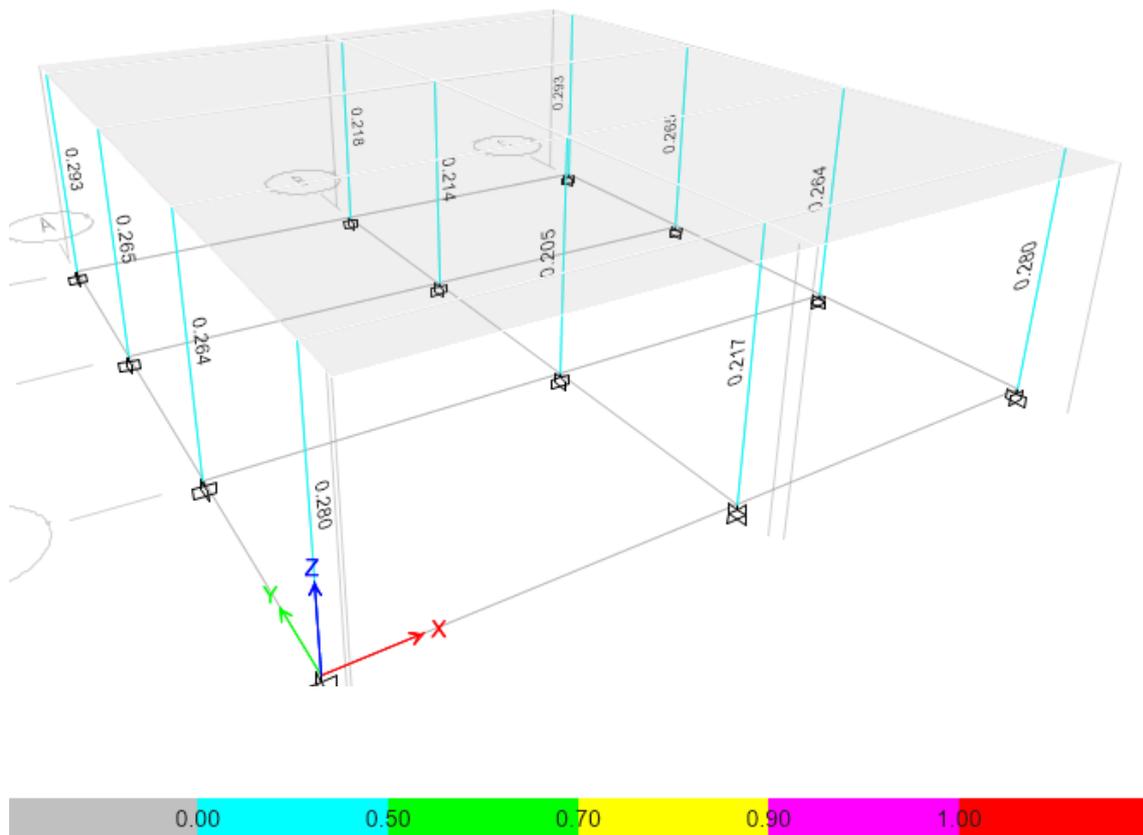
En las figuras 111 y 112 mostradas anteriormente se aprecia el porcentaje de acero para cada columna, como se puede notar tanto para el espectro NEC 2015 como para el espectro Determinista el porcentaje de acero en columnas es de 1,00% lo cual está dentro de lo establecido en la normativa que va del 1 al 3%.

**Figura 113.-** Demanda - Capacidad NEC 2015



**Fuente.-** ETABS 2016

**Figura 114.-** Demanda - Capacidad Determinista



**Fuente.-** ETABS 2016

En las figuras 113 Y 114 se ve la demanda – capacidad de las columnas, el cual se ve representada por una serie de colores para una mejor visualización, dichos valores se citan a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 84.-** Demanda – Capacidad en Columnas

Columna	Demanda - Capacidad	
	NEC 2015	Determinista
<b>Nv + 0,00 - Nv + 2,90</b>		
A1	0.293	0.293
A2	0.277	0.265
A3	0.277	0.264
A4	0.293	0.28
B1	0.227	0.218
B2	0.213	0.214
B3	0.213	0.205
B4	0.227	0.217
C1	0.293	0.293
C2	0.277	0.265
C3	0.277	0.264
C4	0.293	0.280

**Fuente.-** ETABS 2016

En las figuras 113 y 114, así como en la tabla 84 se observa los valores de Demanda-Capacidad de las columnas, en lo cual se destaca que para el espectro de la NEC 2015 presenta mayores valores, esto se debe principalmente a que las demandas para dicho espectro es mayor a las demandas del espectro Determinista, sin embargo cabe destacar que en ninguno de los dos casos este valor sobre pasa a 1 que es el límite máximo que se puede asignar a una estructura.

#### **4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

En base a los resultados obtenidos se puede confirmar que la hipótesis anteriormente planteada en esta investigación, influye en el nivel de amenaza de las estructuras de la ciudadela El Dorado en la Parroquia Huachi Chico, pues el espectro determinista en los períodos de 0,23 a 0,46 segundos y 1,06 a 4,75seg supera al espectro de la normativa generando mayores aceleraciones.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

La finalidad de este estudio es conocer la influencia en el nivel de amenaza de las estructuras de la ciudadela El Dorado en la Parroquia Huachi Chico en la ciudad de Ambato mediante un estudio de peligro sísmico determinista, estudiando las principales fuentes sísmicas corticales como son las Fallas de Ambato, Huachi y Totoras; y de la Falla de Subducción; este estudio servirá de referente para posteriores estudios de la ciudad. A continuación se citaran los resultados obtenidos.

- Las Fallas corticales de mayor magnitud de momento calculada son las Fallas de Ambato y Totoras con  $M_w$ : 6.5, tomando en cuenta la longitud de las fallas, la de Ambato es más corta; sin embargo presenta menor distancia al centro del área de estudio que la Falla de Totoras, que es más grande pero se encuentra más alejada; y la Falla de Subducción tiene una magnitud de momento de  $M_w$ : 9.3 debido principalmente a su gran magnitud.
- En la figura 36 se aprecia que para periodos cortos, mediante el modelo de Akkar y Boomer se presentan las mayores aceleraciones en la Falla de Ambato, superando a la normativa, pues estas superan a las propuestas por la NEC 2015 en un intervalo de 0.23 a 0.46 segundos, alcanzando aceleraciones de 1,331g.
- Para la Falla de Subducción el modelo propuesto por Zhao presenta mayores aceleraciones que la NEC 2015, superando a la norma en periodos largos que van desde el intervalo de 1.06 a 4.75 segundos, siendo 1.5 veces mayores estas aceleraciones a las de la normativa.

- En el área de estudio las fallas corticales afectan principalmente a estructuras con periodos cortos de vibración (estructuras de 2 y 4 niveles), mientras que la Falla de Subducción afecta a estructuras con periodos de vibración altos (estructuras de más de 10 niveles)
- En el área de estudio existe una probabilidad de ocurrencia del 63,64% de presentarse las máximas aceleraciones en el período de 0,30 segundos, lo cual nos da a saber que las estructuras más vulnerables del sector son las estructuras de 3 pisos, también existe una probabilidad del 27,27% de ocurrencia en el período de 0,20 segundos provocando amenazas sobre edificaciones de 2 pisos.
- La respuesta espectral varía dependiendo de la distancia al epicentro para eventos corticales; mientras que para eventos de subducción depende de la profundidad de la liberación de la energía.
- De las relaciones del cortante dinámico y el cortante estático, se cumple que en todos los niveles presentan una relación mayor al 80% para estructuras regulares y 85% para estructuras irregulares
- Las derivas producidas por el espectro determinista superan a las derivas producidas por la NEC en el período de 0,23 a 0,46 segundos, sin embargo las inelásticas no superan el límite del 2% establecido en la normativa en ninguna de sus direcciones principales.
- Las secciones de los elementos estructurales que presentan las edificaciones están sujetas a aceleraciones propuestas por la NEC 2015; sin embargo en el intervalo calculado estas estructuras deberán ser calculadas con aceleraciones mayores, pues presentan mayores factores de Demanda-Capacidad que la normativa.

## 5.2. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de mejorar los estudios de microzonificación sísmica se propone para trabajos futuros realizar lo siguiente:

- Como las Ecuaciones de Predicción de Movimiento se encuentran constantemente mejorando, se recomienda actualizar estos tipos de investigación puesto que van cambiando los factores utilizados en cada método.
- Se recomienda aumentar el catálogo sísmico del país, para lo cual se debería mantener en perfecto funcionamiento la red de sismógrafos (RENSIG) y la red de acelerógrafos (RENAC) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
- Como el área de estudio se encuentra en su mayoría cubierta por estructuras de entre 2 y 3 pisos, se recomienda analizar el desempeño de las estructuras al ser expuesto a mayores aceleraciones que las propuestas por la normativa.
- Realizar un estudio sobre el desempeño de las estructuras especiales, esenciales, de gran importancia o donde exista gran conglomeración de personas pues estas se encuentran en el campo cercano (0-10km) de una falla superficial, para conocer las demandas que estas presentan mediante el uso del espectro de la NEC y el espectro Determinista, evaluando la componente vertical del sismo mediante un estudio de respuesta de sitio; pues en el área de estudio se encuentran estructuras como son: El Mall de los Andes, El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato, Las Oficinas de la Cooperativa de la Cámara de Comercio de Ambato.
- Realizar estudios de las fallas de la ciudad de Ambato, para poder obtener información detallada sobre la dispersión de la energía sísmica liberada, así como estudios en base a la componente vertical de los sismos.

- Tener un mapa de microzonificación sísmica así como un estudio de las estructuras de la ciudad de Ambato, para conocer de una mejor manera los lugares con mayor vulnerabilidad sísmica.

## C. MATERIAL DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Hernández, M. Schimitz, F. Audemard y G. Malavé, «MARCO CONCEPTUAL DEL PROYECTO DE MICROZONIFICACIÓN DE CARCAS Y BARQUISIMETO,» 17 Mayo 2006. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Franck\\_Audemard/publication/236147708\\_MARCO\\_CONCEPTUAL\\_DEL\\_PROYECTO\\_DE\\_MICROZONIFICACION\\_DE\\_CARACAS\\_Y\\_BARQUISIMETO/links/00b49516609a4b90f9000000/MARCO-CONCEPTUAL-DEL-PROYECTO-DE-MICROZONIFICACION-DE-CARACAS-Y-BARQUISI](https://www.researchgate.net/profile/Franck_Audemard/publication/236147708_MARCO_CONCEPTUAL_DEL_PROYECTO_DE_MICROZONIFICACION_DE_CARACAS_Y_BARQUISIMETO/links/00b49516609a4b90f9000000/MARCO-CONCEPTUAL-DEL-PROYECTO-DE-MICROZONIFICACION-DE-CARACAS-Y-BARQUISI).
- [2] C. Morales, I. Bernal, H. Tavera, L. Arredondo y J. Oyola, «ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA DE PSEUDO ACELERACIÓN A PARIR DEL ANÁLISIS DINÁMICO LINEAL EQUIVALENTE DEL SUELO EN CHIMBOTE-PERU,» Mayo 2017. [En línea]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-02832017000200031&lang=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832017000200031&lang=pt).
- [3] D. Alvarado y G. Valdebenito, «Microzonificación Sísmica en Zonas de Geología Compleja. Evaluación del Peligro Sísmico Local en Valdivia,» Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://rina.cl/rina/wp-content/uploads/2015/11/Achisina-Microzonificaci%C2%A2n-Valdivia-01-Oct-2014.pdf>.
- [4] R. Aguiar, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO, Quito, 2017.
- [5] J. Marín, E. Salcedo y H. Castillo, «Relaciones empíricas entre parámetros instrumentales y macrosísmos de algunos terremotos fuertes de Colombia,» Junio 2008. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/boge/v30n1/v30n1a07.pdf>.
- [6] NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2015.
- [7] V. Schimidt, «Ecuaciones Predictivas del Movimientos del Suelo para América Central, con datos de 1972 a 2010,» 5 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/15106/14397>.
- [8] E. Rosenblueth y N. M. Newmark, Fundamentos de Ingeniería Sísmica, Mexico: Editorial Diana, 1971.
- [9] O. A. Guzman, «Cinturón de Fuego del Pacífico,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.araosguzman.org/2011/06/cinturon-fuego-pacifico-oscar-araos.html>.

- [10] W. Medina, «La Hora,» 19 Abril 2002. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/1000077460/ambato-necesita-identificar-zonas-de-alto-riesgo>.
- [11] H. Yépez, «El Herald,» 22 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.elheraldo.com.ec/index.php?fecha=2016-05-22&seccion=Ciudad&noticia=69560>.
- [12] C. Arnold y R. Reitherman, Configuración y Diseño Sísmico de Edificios, Mexico: Editorial LIMUSA, 1987.
- [13] J. Grases, «La amenaza sísmica, estrategias preventivas,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/896/La%20amenaza%20sísmica.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- [14] Z. Aguiar, «ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO Y ESTIMADO DEL MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO,» 18 Enero 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/237684107\\_ANALISIS\\_DE\\_PELIGRO\\_SISMICO\\_Y\\_ESTIMADO\\_DEL\\_MOVIMIENTO\\_SISMICO\\_DE\\_DISENO](https://www.researchgate.net/publication/237684107_ANALISIS_DE_PELIGRO_SISMICO_Y_ESTIMADO_DEL_MOVIMIENTO_SISMICO_DE_DISENO).
- [15] L. Gonzáles de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo, Ingeniería Geológica, Madrid: Pearson Prentice Hall, 2002.
- [16] E. Tarbuck y F. Lutgens, Ciencias de la Tierra Una introducción a la geología física, Madrid: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [17] C. Jaramillo, L. Madrazo, S. Barrozo, F. Muñoz, R. Flores, L. Arias y D. Albornoz, «Cuando la naturaleza impone sus límites - Terremotos,» 2014. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/239977953/LOS-TERREMOTOS-Trabajo-Monografico>.
- [18] D. Giardini, G. Grunthal, K. Shedlock y P. Zhang, «Global Seismic Hazard Map,» 6 Diciembre 1999. [En línea]. Available: <http://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/3784/3848>.
- [19] S. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering, United States of America: Editora Prentice-Hall, 1996.
- [20] P. Quinde y E. Reinoso, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf>.
- [21] A. Córdova, «Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional,» Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos/sismicos-anuales/231--50/file>.
- [22] F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vanca y H. Yepes, «Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador,» Noviembre

2007. [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>.
- [23] «Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional,» 17 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>.
- [24] Global Earthquake Model, «GMPES,» [En línea]. Available: <https://storage.globalquakemodel.org/what/seismic-hazard/gmpes/>.
- [25] B. Benito, L. Cabañas, M. López, M. Jiménez y A. López, «Revisión de modelos de movimiento fuerte del suelo y aplicación a la predicción de espectros de respuesta,» [En línea]. Available: [http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub\\_029.pdf](http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub_029.pdf).
- [26] D. Boore y G. Atkinson, «Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0s,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.daveboore.com/pubs\\_online/boore\\_atkinson\\_eqspectra\\_published.pdf](http://www.daveboore.com/pubs_online/boore_atkinson_eqspectra_published.pdf).
- [27] S. Akkar y J. Bommer, «Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East,» Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/srl/article-abstract/81/2/195/143661/empirical-equations-for-the-prediction-of-pga-pgv?redirectedFrom=fulltext>.
- [28] T. Kanno, A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara y Y. Fukushima, «A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data,» 1 Junio 2006. [En línea]. Available: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/3/879/146775/a-new-attenuation-relation-for-strong-ground?redirectedFrom=fulltext>.
- [29] R. Youngs, S. Chiou, W. Silva y J. Humphrey, «strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes,» 1 Enero 1997. [En línea]. Available: <http://www.pacificengineering.org/GM%20Attenuation/Strong%20GM%20Attenuation.pdf>.
- [30] J. Zhao, J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. Thio, P. Somerville, Y. Fukushima y Y. Fukushima, «Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period,» Junio 2016. [En línea]. Available: [http://www.science.earthjay.com/instruction/CR\\_eureka/2014\\_spring/FNR\\_66/activities/activity\\_06/lab\\_06/zhao\\_etal\\_2006\\_attenuation\\_relations\\_ground\\_motion\\_predominant\\_period.pdf](http://www.science.earthjay.com/instruction/CR_eureka/2014_spring/FNR_66/activities/activity_06/lab_06/zhao_etal_2006_attenuation_relations_ground_motion_predominant_period.pdf).

- [31] D. Wells y K. Coppersmith, «New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement,» Agosto 1994. [En línea]. Available: <http://seismo.berkeley.edu/~rallen/teaching/eps256-s07/WellsCoppersmith1994.pdf>.
- [32] F. Strasser, M. Arango y J. Bommer, «Scaling of the Source Dimensions of Interface and Intraslab Subduction-Zone Earthquakes with Moment Magnitude,» Noviembre 2010. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/277479804\\_Scaling\\_of\\_the\\_Source\\_Dimensions\\_of\\_Interface\\_and\\_Intraslab\\_Subduction-zone\\_Earthquakes\\_with\\_Moment\\_Magnitude](https://www.researchgate.net/publication/277479804_Scaling_of_the_Source_Dimensions_of_Interface_and_Intraslab_Subduction-zone_Earthquakes_with_Moment_Magnitude).
- [33] C. Crespo, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, Mexico: LIMUSA, S.A., 2004.
- [34] «Norma Técnica Ecuatoriana INEN 689,» [En línea]. Available: <https://ia601903.us.archive.org/5/items/ec.nte.0689.1982/ec.nte.0689.1982.pdf>.
- [35] D. Gautam, «Empirical correlation between uncorrected standard penetration resistance (N) and shear wave velocity (VS) for Kathmandu Valley, Nepal,» [En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2016.1243588?needAccess=true.&>.
- [36] C. Medina y S. Medina, «Coeficiente Irregularidad en Planta a partir del Análisis de Torsión,» Julio 2017. [En línea]. Available: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v39n2/2477-8990-rpolit-39-02-00051.pdf>.

**2. ANEXOS**  
**ANEXO A**

**Fotografía 1.- Martinete**



**Fotografía 2.- Motor**



**Fotografía 3.- Trípode**



**Fotografía 4.- Colocación del equipo**



**Fotografía 5.- Hincado del martinete**



**Fotografía 6.- Obtención de la muestra de suelo**



**Fotografía 7.-** Ensayo granulométrico



**Fotografía 8.-** Pesando la muestra de suelo



## ANEXO B

**B-1.-** Coeficiente de amplificación del sitio dependiente del período

<b>PERÍODO</b>	<b>B<sub>lin</sub></b>	<b>b<sub>1</sub></b>	<b>b<sub>2</sub></b>
PGA	-0.36	-0.64	-0.14
0.01	-0.36	-0.64	-0.14
0.02	-0.34	-0.63	-0.12
0.03	-0.33	-0.62	-0.11
0.05	-0.29	-0.64	-0.11
0.075	-0.23	-0.64	-0.11
0.1	-0.25	-0.60	-0.13
0.15	-0.28	-0.53	-0.18
0.2	-0.31	-0.52	-0.19
0.25	-0.39	-0.52	-0.16
0.3	-0.44	-0.52	-0.14
0.4	-0.50	-0.51	-0.10
0.5	-0.60	-0.50	-0.06
0.75	-0.69	-0.47	0.00
1	-0.70	-0.44	0.00
1.5	-0.72	-0.40	0.00
2	-0.73	-0.38	0.00
3	-0.74	-0.34	0.00
4	-0.75	-0.31	0.00
5	-0.75	-0.29	0.00
7.5	-0.69	-0.25	0.00
10	-0.65	-0.22	0.00

**Fuente.-** Boore y Atkinson 2008

**B-2.-** Coeficientes de escala de distancia ( $M_{ref} = 4,5$  y  $R_{ref} = 1,0$  km para todos los períodos, excepto  $R_{ref} = 5,0$  km para pga4nl)

<b>PERÍODO</b>	<b>c1</b>	<b>c2</b>	<b>c3</b>	<b>H</b>
PGA	-0.6605	0.1197	-0.01151	1.35
0.01	-0.6622	0.12	-0.01151	1.35
0.02	-0.666	0.1228	-0.01151	1.35
0.03	-0.6901	0.1283	-0.01151	1.35
0.05	-0.717	0.1317	-0.01151	1.35
0.075	-0.7205	0.1237	-0.01151	1.55
0.1	-0.7081	0.1117	-0.01151	1.68
0.15	-0.6961	0.09884	-0.01113	1.86
0.2	-0.583	0.04273	-0.00952	1.98
0.25	-0.5726	0.02977	-0.00837	2.07
0.3	-0.5543	0.01955	-0.0075	2.14
0.4	-0.6443	0.04394	-0.00626	2.24
0.5	-0.6914	0.0608	-0.0054	2.32
0.75	-0.7408	0.07518	-0.00409	2.46
1	-0.8183	0.1027	-0.00334	2.54
1.5	-0.8303	0.09793	-0.00255	2.66
2	-0.8285	0.09432	-0.00217	2.73
3	-0.7844	0.07282	-0.00191	2.83
4	-0.6854	0.03758	-0.00191	2.89
5	-0.5096	-0.02391	-0.00191	2.93
7.5	-0.3724	-0.06568	-0.00191	3
10	-0.09824	-0.138	-0.00191	3.04

**Fuente.-** Boore y Atkinson 2008

**B-3.- Coeficientes de escala de magnitud**

<b>PERÍODO</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>	<b>e3</b>	<b>e4</b>	<b>e5</b>	<b>e6</b>	<b>e7</b>	<b>Mh</b>
PGA	-0.53804	-0.5035	-0.75472	-0.5097	0.28805	-0.10164	0	6.75
0.01	-0.52883	-0.49429	-0.74551	-0.49966	0.28897	-0.10019	0	6.75
0.02	-0.52192	-0.48508	-0.73906	-0.48895	0.25144	-0.11006	0	6.75
0.03	-0.45285	-0.41831	-0.66722	-0.42229	0.17976	-0.12858	0	6.75
0.05	-0.28476	-0.25022	-0.48462	-0.26092	0.06369	-0.15752	0	6.75
0.075	0.00767	0.04912	-0.20578	0.02706	0.0117	-0.17051	0	6.75
0.1	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	-0.15948	0	6.75
0.15	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.1799	-0.14539	0	6.75
0.2	0.5718	0.59253	0.4086	0.61472	0.52729	-0.12964	0.00102	6.75
0.25	0.51884	0.53496	0.3388	0.57747	0.6088	-0.13843	0.08607	6.75
0.3	0.43825	0.44516	0.25356	0.5199	0.64472	-0.15694	0.10601	6.75
0.4	0.3922	0.40602	0.21398	0.4608	0.7861	-0.07843	0.02262	6.75
0.5	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	-0.09054	0	6.75
0.75	-0.21338	-0.19496	-0.49176	-0.10813	0.75179	-0.14053	0.10302	6.75
1	-0.46896	-0.43443	-0.78465	-0.3933	0.6788	-0.18257	0.05393	6.75
1.5	-0.86271	-0.79593	-1.20902	-0.88085	0.70689	-0.2595	0.19082	6.75
2	-1.22652	-1.15514	-1.57697	-1.27669	0.77989	-0.29657	0.29888	6.75
3	-1.82979	-1.7469	-2.22584	-1.91814	0.77966	-0.45384	0.67466	6.75
4	-2.24656	-2.15906	-2.58228	-2.38168	1.24961	-0.35874	0.79508	6.75
5	-1.28408	-1.2127	-1.50904	-1.41093	0.14271	-0.39006	0	8.5
7.5	-1.43145	-1.31632	-1.81022	-1.59217	0.52407	-0.37578	0	8.5
10	-2.15446	-2.16137	-2.53323	-2.14635	0.40387	-0.48492	0	8.5

**Fuente.-** Boore y Atkinson 2008

## ANEXO C

Coeficientes de ecuaciones de Akkar y Bommer para la predicción de la Pseudoaceleración espectral

<b>T</b>	<b>b1</b>	<b>b2</b>	<b>b3</b>	<b>b4</b>	<b>b5</b>	<b>b6</b>
0	1.04159	0.91333	-0.0814	-2.92728	0.2812	7.86638
0.05	2.11528	0.72571	-0.07351	-3.33201	0.33534	7.74734
0.1	2.11994	0.75179	-0.07448	-3.10538	0.30253	8.21405
0.15	1.64489	0.83683	-0.07544	-2.75848	0.2549	8.31786
0.2	0.92065	0.96815	-0.07903	-2.49264	0.2179	8.21914
0.25	0.13978	1.13068	-0.08761	-2.33824	0.20089	7.20688
0.3	-0.84006	1.37439	-0.10349	-2.19123	0.18139	6.54299
0.35	-1.32207	1.47055	-0.10873	-2.12993	0.17485	6.24751
0.4	-1.7032	1.5593	-0.11388	-2.12718	0.17137	6.57173
0.45	-1.97201	1.61645	-0.11742	-2.16619	0.177	6.78082
0.5	-2.76925	1.83268	-0.13202	-2.12969	0.16877	7.17423
0.55	-3.51672	2.02523	-0.14495	-2.04211	0.15617	6.7617
0.6	-3.92759	2.08471	-0.14648	-1.88144	0.13621	6.10103
0.65	-4.4949	2.21154	-0.15522	-1.79031	0.12916	5.19135
0.7	-4.62925	2.21764	-0.15491	-1.798	0.13495	4.46323
0.75	-4.95053	2.29142	-0.15983	-1.81321	0.1392	4.27945
0.8	-5.32863	2.38389	-0.16571	-1.77273	0.13273	4.37011
0.85	-5.75799	2.50635	-0.17479	-1.77068	0.13096	4.62192
0.9	-5.82689	2.50287	-0.17367	-1.76295	0.13059	4.65393
0.95	-5.90592	2.51405	-0.17417	-1.79854	0.13535	4.8454
1	-6.17066	2.58558	-0.17938	-1.80717	0.13599	4.97596
1.05	-6.60337	2.69584	-0.18646	-1.73843	0.12485	5.04489
1.1	-6.90379	2.77044	-0.19171	-1.71109	0.12227	5.00975
1.15	-6.9618	2.75857	-0.1889	-1.66588	0.11447	5.08902
1.2	-6.99236	2.73427	-0.18491	-1.5912	0.10265	5.03274
1.25	-6.74613	2.62375	-0.17392	-1.52886	0.09129	5.08347
1.3	-6.51719	2.51869	-0.1633	-1.46527	0.08005	5.14423
1.35	-6.55821	2.52238	-0.16307	-1.48223	0.08173	5.29006
1.4	-6.61945	2.52611	-0.16274	-1.48257	0.08213	5.3349
1.45	-6.62737	2.49858	-0.1591	-1.4331	0.07577	5.19412
1.5	-6.71787	2.49486	-0.15689	-1.35301	0.06379	5.1575
1.55	-6.80776	2.50291	-0.15629	-1.31227	0.05697	5.27441
1.6	-6.83632	2.51009	-0.15676	-1.3326	0.0587	5.54539
1.65	-6.88684	2.54048	-0.15995	-1.40931	0.0686	5.93828
1.7	-6.946	2.57151	-0.16294	-1.47676	0.07672	6.36599
1.75	-7.09166	2.62938	-0.16794	-1.54037	0.08428	6.82292

1.8	-7.22818	2.66824	-0.17057	-1.54273	0.08325	7.11603
1.85	-7.29772	2.67565	-0.17004	-1.50936	0.07663	7.31928
1.9	-7.35522	2.67749	-0.16934	-1.46988	0.07065	7.25988
1.95	-7.40716	2.68206	-0.16906	-1.43816	0.06525	7.25344
2	-7.50404	2.71004	-0.1713	-1.44395	0.06602	7.26059
2.05	-7.55598	2.72737	-0.17291	-1.45794	0.06774	7.4032
2.1	-7.53463	2.71709	-0.17221	-1.46662	0.0694	7.46168
2.15	-7.50811	2.71035	-0.17212	-1.49679	0.07429	7.51273
2.2	-8.09168	2.91159	-0.1892	-1.55644	0.08428	7.77062
2.25	-8.11057	2.92087	-0.19044	-1.59537	0.09052	7.87702
2.3	-8.16272	2.93325	-0.19155	-1.60461	0.09284	7.91753
2.35	-7.94704	2.85328	-0.18539	-1.57428	0.09077	7.61956
2.4	-7.96679	2.85363	-0.18561	-1.57833	0.09288	7.59643
2.45	-7.97878	2.849	-0.18527	-1.57728	0.09428	7.50338
2.5	-7.88403	2.81817	-0.1832	-1.60381	0.09887	7.53947
2.55	-7.68101	2.7572	-0.17905	-1.65212	0.1068	7.61893
2.6	-7.72574	2.82043	-0.18717	-1.88782	0.14049	8.12248
2.65	-7.53288	2.74824	-0.18142	-1.89525	0.14356	7.92236
2.7	-7.41587	2.69012	-0.17632	-1.87041	0.14283	7.49999
2.75	-7.34541	2.65352	-0.17313	-1.86079	0.1434	7.26668
2.8	-7.24561	2.61028	-0.16951	-1.85612	0.14444	7.11861
2.85	-7.07107	2.56123	-0.16616	-1.90422	0.15127	7.36277
2.9	-6.99332	2.52699	-0.16303	-1.89704	0.15039	7.45038
2.95	-6.95669	2.51006	-0.16142	-1.90132	0.15081	7.60234
3	-6.92924	2.45899	-0.15513	-1.76801	0.13314	7.2195

**Fuente.-** Akkar y Bommer 2010

Coeficientes de ecuaciones de Akkar y Bommer para la predicción de la  
Pseudoaceleración espectral

<b>T</b>	<b>b7</b>	<b>b8</b>	<b>b9</b>	<b>b10</b>	<b><math>\sigma_1</math></b>	<b><math>\sigma_2</math></b>
0	0.08753	0.01527	-0.04189	0.08015	0.261	0.0994
0.05	0.04707	-0.02426	-0.0426	0.08649	0.272	0.1142
0.1	0.02667	-0.00062	-0.04906	0.0791	0.2728	0.1167
0.15	0.02578	0.01703	-0.04184	0.0784	0.2788	0.1192
0.2	0.06557	0.02105	-0.02098	0.08438	0.2821	0.1081
0.25	0.0981	0.03919	-0.04853	0.08577	0.2871	0.099
0.3	0.12847	0.0434	-0.05554	0.09221	0.2902	0.0976
0.35	0.16213	0.06695	-0.04722	0.09003	0.2983	0.1054
0.4	0.21222	0.09201	-0.05145	0.09903	0.2998	0.1101
0.45	0.24121	0.11675	-0.05202	0.09943	0.3037	0.1123
0.5	0.25944	0.13562	-0.04283	0.08579	0.3078	0.1163
0.55	0.26498	0.14446	-0.04259	0.06945	0.307	0.1274
0.6	0.27718	0.15156	-0.03853	0.05932	0.3007	0.143
0.65	0.28574	0.15239	-0.03423	0.05111	0.3004	0.1546
0.7	0.30348	0.15652	-0.04146	0.04661	0.2978	0.1626
0.75	0.31516	0.16333	-0.0405	0.04253	0.2973	0.1602
0.8	0.32153	0.17366	-0.03946	0.03373	0.2927	0.1584
0.85	0.3352	0.1848	-0.03786	0.02867	0.2917	0.1543
0.9	0.34849	0.19061	-0.02884	0.02475	0.2915	0.1521
0.95	0.35919	0.19411	-0.02209	0.02502	0.2912	0.1484
1	0.36619	0.19519	-0.02269	0.02121	0.2895	0.1483
1.05	0.37278	0.19461	-0.02613	0.01115	0.2888	0.1465
1.1	0.37756	0.19423	-0.02655	0.0014	0.2896	0.1427
1.15	0.38149	0.19402	-0.02088	0.00148	0.2871	0.1435
1.2	0.3812	0.19309	-0.01623	0.00413	0.2878	0.1439
1.25	0.38782	0.19392	-0.01826	0.00413	0.2863	0.1453
1.3	0.38862	0.19273	-0.01902	-0.00369	0.2869	0.1427
1.35	0.38677	0.19082	-0.01842	-0.00897	0.2885	0.1428
1.4	0.38625	0.19285	-0.01607	-0.00876	0.2875	0.1458
1.45	0.38285	0.19161	-0.01288	-0.00564	0.2857	0.1477
1.5	0.37867	0.18812	-0.01208	-0.00215	0.2839	0.1468
1.55	0.37267	0.18568	-0.00845	-0.00047	0.2845	0.145
1.6	0.36952	0.18149	-0.00533	-0.00006	0.2844	0.1457
1.65	0.36531	0.17617	-0.00852	-0.00301	0.2841	0.1503
1.7	0.35936	0.17301	-0.01204	-0.00744	0.284	0.1537
1.75	0.35284	0.16945	-0.01386	-0.01387	0.284	0.1558
1.8	0.34775	0.16743	-0.01402	-0.01492	0.2834	0.1582
1.85	0.34561	0.1673	-0.01526	-0.01192	0.2828	0.1592
1.9	0.34142	0.16325	-0.01563	-0.00703	0.2826	0.1611

1.95	0.3372	0.16171	-0.01848	-0.00351	0.2832	0.1642
2	0.33298	0.15839	-0.02258	-0.00486	0.2835	0.1657
2.05	0.3301	0.15496	-0.02626	-0.00731	0.2836	0.1665
2.1	0.32645	0.15337	-0.0292	-0.00871	0.2832	0.1663
2.15	0.32439	0.15264	-0.03484	-0.01225	0.283	0.1661
2.2	0.31354	0.1443	-0.03985	-0.01927	0.283	0.1627
2.25	0.30997	0.1443	-0.04155	-0.02322	0.283	0.1627
2.3	0.30826	0.14412	-0.04238	-0.02626	0.2829	0.1633
2.35	0.32071	0.14321	-0.04963	-0.02342	0.2815	0.1632
2.4	0.31801	0.14301	-0.0491	-0.0257	0.2826	0.1645
2.45	0.31401	0.14324	-0.04812	-0.02643	0.2825	0.1665
2.5	0.31104	0.14332	-0.0471	-0.02769	0.2818	0.1681
2.55	0.30875	0.14343	-0.04607	-0.02819	0.2818	0.1688
2.6	0.31122	0.14255	-0.05106	-0.02966	0.2838	0.1741
2.65	0.30935	0.14223	-0.05024	-0.0293	0.2845	0.1759
2.7	0.30688	0.14074	-0.04887	-0.02963	0.2854	0.1772
2.75	0.30635	0.14052	-0.04743	-0.02919	0.2862	0.1783
2.8	0.30534	0.13923	-0.04731	-0.02751	0.2867	0.1794
2.85	0.30508	0.13933	-0.04522	-0.02776	0.2869	0.1788
2.9	0.30362	0.13776	-0.04203	-0.02615	0.2874	0.1784
2.95	0.29987	0.13584	-0.03863	-0.02487	0.2872	0.1783
3	0.29772	0.13198	-0.03855	-0.02469	0.2876	0.1785

**Fuente.-** Akkar y Bommer 2010

**ANEXO D**

Coefficientes de regresión de para el modelo de eventos poco profundos de espectros de respuesta de aceleración atenuada de pga 5%

<b>T</b>	<b>a1</b>	<b>b1</b>	<b>c1</b>	<b>d1</b>	<b>ε1</b>
0	0.56	-0.0031	0.26	0.0055	0.37
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38
0.08	0.52	-0.004	0.75	0.0069	0.39
0.09	0.52	-0.0041	0.8	0.0071	0.4
0.1	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.4
0.11	0.5	-0.004	0.96	0.0061	0.4
0.12	0.51	-0.004	0.93	0.0062	0.4
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.4
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.006	0.41
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41
0.2	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.4
0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.4
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.4
0.3	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.4
0.4	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.4
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.003	0.41
0.5	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41
0.6	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41
0.7	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41
0.8	0.65	-0.0011	-0.54	0.002	0.41
0.9	0.68	-0.0009	-0.8	0.0019	0.41
1	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41
1.1	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41
1.2	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41
1.3	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41
1.5	0.77	-0.0005	-1.7	0.0017	0.4
1.7	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39
2	0.8	-0.0004	-2.08	0.002	0.39
2.2	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38
2.5	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38
3	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38
3.5	0.9	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37
4	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38
4.5	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38
5	0.92	-0.0004	-3.35	0.003	0.38

Fuente.- Kanno 2006

## ANEXO E

Relaciones de atenuación para aceleración espectral de respuesta horizontal  
(amortiguación del 5%) para los terremotos de subducción para el suelo.

PERÍODO	C1	C2	C3	C4	C5	DE
0	0	0	-2.329	1.45	-0.1	0.65
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1	0.65
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1	0.65
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1	0.65
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1	0.65
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1	0.65
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1	0.65
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1	0.65
1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1	0.7
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1	0.75
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1	0.85
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1	0.85

Fuente.- Youngs 1997

## ANEXO F

Coeficientes para las condiciones de origen y trayectoria

<b>T</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>SR</b>	<b>SI</b>	<b>Ss</b>	<b>SsL</b>
0.00	1.101	-0.0056	0.0055	1.080	0.01412	0.251	0	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.0067	0.0075	1.06	0.01463	0.251	0	2.764	-0.551
0.10	1.118	-0.0079	0.009	1.083	0.01423	0.24	0	2.156	-0.42
0.15	1.134	-0.0072	0.01	1.053	0.01509	0.251	0	2.161	-0.431
0.20	1.147	-0.0066	0.012	1.014	0.01462	0.26	0	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.0059	0.014	0.966	0.01459	0.0269	0	1.814	-0.36
0.30	1.163	-0.0052	0.015	0.934	0.01458	0.259	0	2.181	-0.45
0.40	1.2	-0.0042	0.01	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.50	1.25	-0.0034	0.006	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.60	1.293	-0.0028	0.003	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.70	1.336	-0.0026	0.0025	1.084	0.00979	0.22	-0.146	2.654	-0.572
0.80	1.386	-0.0024	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.48	-0.54
0.90	1.433	-0.0023	0.002	1.109	0.00972	0.22	-0.206	2.332	-0.522
1.00	1.479	-0.0022	0.002	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.0021	0.002	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.50	1.621	-0.0022	0.002	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2.00	1.694	-0.002	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.32	0.966	-0.248
2.50	1.748	-0.0019	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3.00	1.759	-0.0015	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4.00	1.826	-0.002	0.004	1.044	0.0059	0.353	-0.39	0.561	-0.169
5.00	1.825	-0.0024	0.005	1.065	0.0051	0.248	-0.498	0.225	-0.12

**Fuente.-** Zhao 2006

Coeficientes para los términos de clase de sitio y error de predicción

Período	CH	C1	C2	C3	C4	ck	$\sigma$	$\tau$	$\sigma T$
0	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42	1.344	0.604	0.398	0.72334
0.05	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	1.793	0.64	0.444	0.77893
0.1	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	2.135	0.694	0.49	0.84955
0.15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	2.168	0.702	0.46	0.83929
0.2	1.28	1.669	2.085	2.001	2.03	2.085	0.692	0.423	0.81104
0.25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	1.942	0.682	0.391	0.78613
0.3	0.852	1.172	1.683	1.808	1.77	1.683	0.67	0.379	0.76977
0.4	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	1.127	0.659	0.39	0.76576
0.5	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.515	0.653	0.389	0.76009
0.6	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	-0.003	0.653	0.401	0.7663
0.7	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	-0.449	0.652	0.408	0.76913
0.8	-1.609	-1.325	-0.928	-0.62	-0.246	-0.928	0.647	0.418	0.77028
0.9	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	-1.349	0.653	0.411	0.77158
1	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	-1.776	0.657	0.41	0.77443
1.25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	-2.542	0.66	0.402	0.77279
1.5	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	-3.169	0.664	0.408	0.77933
2	-4.783	-4.41	-4.039	-3.871	-3.64	-4.039	0.669	0.414	0.78674
2.5	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	-4.698	0.671	0.411	0.78687
3	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	-5.089	0.667	0.396	0.7757
4	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	-5.882	0.647	0.382	0.75135
5	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	-6.051	0.643	0.377	0.74537

Fuente.- Zhao 2006