



Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil

**Análisis de desempeño del bloque de Mecánica del  
campus Miguel de Cervantes de la Universidad  
Internacional SEK en la ciudad de Quito**

Autor: Aliaga Fernández Mike Jefferson

Tutor: Ing. Soria Núñez Luis Alberto

Quito, septiembre del 2021.



## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Aliaga Fernández Mike Jefferson, con cédula de ciudadanía número 172557511-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Aliaga Fernández Mike Jefferson

C.C. 172557511-0

## DECLARATORIA

El presente Trabajo de Titulación titulado:

**“Análisis de desempeño del bloque de Mecánica del  
campus Miguel de Cervantes de la Universidad  
Internacional SEK en la ciudad de Quito”**

Realizado por:

**Aliaga Fernández Mike Jefferson**

Como requisito para la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Ha sido dirigido por el profesor

Ing. Luis Alberto Soria Núñez

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor.

Ing. Luis Alberto Soria Núñez

**TUTOR**

## DECLARATORIA DE PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

Ing. Luis Alberto Soria Núñez

Ing. Hugo Marcelo Otáñez Gómez

Después de revisar el trabajo presentado,  
Lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal  
examinador

Luis Alberto Soria Núñez

Hugo Marcelo Otáñez Gómez

## DEDICATORIA

Dedico este logro con mucho cariño a mis padres, ya que son mi ejemplo de vida, constancia y dedicación; junto a los recuerdos de mi familia que guardo en mi memoria con mucho respeto y de esta forma poder trascender en logros a lo largo de mi vida profesional.

La larga travesía recorrida que no ha sido nada fácil, pero no lo cambiaría por ninguna posibilidad debido a que a lo largo del camino conocí personas que les tengo respeto y cariño.

Dedico a mis hermanos que están siempre para animarme cuando las cosas no han salido del todo bien, porque han sido mi ejemplo de vida.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar cada uno de mis caminos, acompañarme en todo momento de mi vida y poder cumplir cada sueño propuesto como el de ser Ingeniero civil.

Mis padres Aliaga José Vicente y Fernández Sumba Carmen Magdalena, quienes han sido parte de mis energías cada mañana, dándome ejemplo claro de disciplina y perseverancia, demostrando todos los días a través del amor y cariño hacia sus hijos; me han apoyado en cada proyecto propuesto, por más loco que sea. No existen palabras para agradecerles todo lo que me han brindado, pero de palabras muy sinceras les digo gracias.

Mis hermanos Aliaga Fernández Jonathan y Aliaga Fernández Viviana, quien han sido esas ganas de superación, con apoyo condicional que me han dado otra visión de cada sueño planteado y cumplido.

Nuestro tutor, Ing. Soria Núñez Luis Alberto, por sus enseñanzas dentro y fuera del aula de clases, quien ha guiado con sus conocimientos y experiencia el presente trabajo de investigación, hacia un aporte académico real y crítico.

Nuestra exdecana Ing. Bonucci Yisselle quien luchó arduamente por todo nuestro grupo, quien fue un apoyo incondicional porque aportó en mi formación dentro y fuera de clase que guardo un gran cariño.

Mi novia Herrera Johanna, de forma inesperada llegó a ser parte de mi vida, cada meta planteada y cumplida lo hacemos juntos; me ha brindado amor y fortaleza mediante sus palabras de aliento para seguir adelante los dos. Los amigos que he hecho a lo largo del camino: Taco Juan, Estrada Klever, quienes estuvieron en todo momento y compartimos experiencias únicas.

Mi universidad y profesores que contribuyeron académicamente para hacer de mi un profesional intachable.

## RESUMEN

La actividad sísmica que tiene el Ecuador es activa; por lo cual es necesario construir estructuras que sean capaces a deformar en el rango inelástico sin que colapse la estructura, aclarando la operatividad de las estructuras existentes de desempeño frente a la actividad sísmica y así protegiendo de catástrofes irremediables.

Verificando el estado actual del Bloque de Ingeniería Mecánica del Campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek, en la ciudad de Quito; objeto de estudio en el presente análisis, basado en verificación del cumplimiento de los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la construcción 2015 actualmente vigente. A fin de determinar la capacidad de desempeño en la estructura.

La justificación presentada se basa en la conducta sísmica de las edificaciones de acero, es decir el riesgo sísmico de la zona, la investigación en curso de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras y el cálculo de los parámetros para los estándares de la normativa NEC-15 se centran en el análisis estructural, para el cual se ha considerado el tiempo de la edificación, misma que tiene 9 años de funcionamiento y fue construida empleando los parámetros de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011, donde en aquel año se evaluaban los parámetros de respuesta sísmica con el capítulo de peligro sísmico.

La edificación en estudio se analizó a partir de la modelación estructural en el programa SAP 2000, en el cual, el modelo presenta características centradas a la realidad en masa, rigidez y configuración de la estructura. Además, se ha valorado la carga gravitacional existente para obtener el periodo de vibración donde se muestra el comportamiento del edificio por su geometría y peso propio. Por otro lado, la implementación del análisis estático lineal y análisis estático no lineal por la norma vigente ha permitido la obtención del cortante basal de la estructura, coeficiente del cortante basal que ha permitido aplicar el espectro de respuesta inelástico y la actividad sísmica de la estructura con un tiempo de retorno de 475 años, lo que confirma el ajuste para la deriva máxima.

Esto permitió la verificación de la capacidad de desempeño para finalmente obtener los resultados a partir del análisis estático no lineal, en el que se presenta datos de cortante basal, espectro inelástico y cumplimiento de derivas máximas, así como los pasos de desempeño teniendo presente a las normas con las que se van a trabajado.

### **PALABRAS CLAVE.**

Respuesta sísmica, actividad sísmica, capacidad de desempeño cortante basal, derivas, espectro, sismo, actividad sísmica, análisis estático lineal, análisis estático no lineal, estructura, edificación.

## ABSTRACT

The seismic activity that Ecuador has is active; Therefore, it is necessary to build structures that are capable of deforming in the inelastic range without collapsing the structure, clarifying the operability of existing performance structures against seismic activity, and thus protecting from irreparable catastrophes.

Verifying the status of the Mechanical Engineering Block of the Miguel de Cervantes Campus of the Sek International University, in the city of Quito; object of study in the current analysis, based on the verification of compliance with the parameters of the Ecuadorian Construction Standard 2015 currently in force. To determine the level of performance in the structure.

The justification presented is based on the seismic behavior of the steel edgings, that is, the seismic risk of the area, the ongoing investigation of the seismic vulnerability of the structures, and the calculation of the parameters for the standards of the NEC-15 regulation. focus on structural analysis, for which the construction time has been considered, which has been in operation for 9 years and was built using the parameters of the Ecuadorian Construction Standard 2011, were in that year the parameters of seismic response with seismic hazard chapter.

The building understudy was analyzed from the structural modeling in the SAP 2000 program, in which the model presents characteristics focused on reality in mass, rigidity, and configuration of the structure. In addition, the existing gravitational load has been evaluated to obtain the vibration period where the behavior of the building is shown by its geometry and its weight. On the other hand, the implementation of linear static analysis and non-linear static analysis by the current standard has allowed obtaining the basal shear of the structure, the basal shear coefficient that has allowed the application of the inelastic response spectrum, and the seismic activity of the structure. with a payback time of 475 years, confirming the setting for maximum drift.

This verifies the verification of the performance levels to finally obtain the results from the nonlinear static analysis, in which data of basal shear, inelastic spectrum, and compliance with maximum drifts are presented, as well as the level of performance bearing in mind the norms with which they are going to work.

### KEY WORDS.

Seismic response, seismic activity, basal shear performance levels, drifts, spectrum, earthquake, seismic activity, linear static analysis, non-linear static analysis, structure, building.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN JURAMENTADA.....	ii
DECLARATORIA.....	iii
DECLARATORIA DE PROFESORES INFORMANTES.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xviii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xix
1. CAPITULO.....	24
1.1. Antecedentes.....	24
1.2. Título.....	27
1.3. Planteamiento del problema.....	27
1.4. Definición de variable.....	28
1.4.1. Variable Dependiente. –.....	28
1.4.2. Variable Independiente. –.....	28
1.5. Relación de variable.....	28
1.6. Justificación.....	28
1.7. Hipótesis.....	29
1.8. Objetivos.....	29
1.8.1. Objetivo principal.....	29
1.8.2. Objetivos secundarios.....	30
1.9. Alcance.....	30

1.10.	Limitaciones .....	30
2.	CAPITULO.....	32
2.1.	Marco teórico.....	32
2.1.1.	Localización del Bloque de Mecánica.....	34
2.1.2.	Análisis de la estructura en estudio. ....	35
2.1.3.	La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. ....	36
2.1.4.	Análisis Sísmico NEC-SE-DS 2015.....	36
2.1.5.	Estudio de Suelo.....	37
2.1.6.	Aceleración Sísmica y Zona Sísmica.....	38
2.1.7.	Espectro de Respuesta de Aceleración.....	40
2.1.8.	Periodo de vibración de una estructura. ....	41
2.1.9.	Relación entre la aceleración $S_a$ y el PGA ( $\eta$ ).....	43
2.1.10.	Periodo límite de Vibración en el espectro sísmico elástico ( $T_c$ ). ....	44
2.1.11.	Coefficientes de Amplificación del suelo ( $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ ). ....	44
2.1.12.	Fuerza Sísmica Total.....	45
2.1.13.	Cálculo de las variables.....	46
2.1.14.	Configuración en Planta y Elevación. ....	47
2.1.14.1.	Configuración en Planta $\phi_p$ .....	47
2.1.14.2.	Torsión en planta.....	47
2.1.14.3.	Configuración en elevación $\phi_E$ .....	48
2.1.15.	Factor de reducción de resistencia (R). ....	49
2.1.16.	Carga Sísmica Reactiva (W). ....	50
2.1.17.	Coefficiente Estático.....	50
2.1.18.	Deriva de Piso. ....	51
2.1.19.	La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011. ....	52

2.1.19.1.	Zonificación Sísmica y Factor de Zona Z. ....	52
2.1.19.2.	Tipos de perfiles de suelo.....	53
2.1.19.3.	Coeficiente de perfiles de suelo Fa, Fd y Fs. ....	53
2.1.19.4.	Tipo de uso, destino e importancia de la estructura I. ....	54
2.1.19.5.	Irregularidades en Planta y Elevación. ....	55
2.1.19.5.1.	Irregularidades en Planta $\emptyset P$ .....	55
2.1.19.5.2.	Irregularidades en elevación $\emptyset E$ . ....	56
2.1.19.6.	Carga sísmica Reactiva W. ....	57
2.1.19.7.	Fuerza sísmica para la estructura. ....	57
2.1.19.7.1.	Cortante basal de diseño.....	57
2.1.19.7.2.	Periodo de vibración T. ....	58
2.1.19.8.	Factor de reducción sísmica R. ....	58
2.1.19.9.	Deriva de piso. ....	59
2.2.	Comparación valores, parámetros de la norma NEC-11 y NEC-15. ....	60
2.2.1.	Combinación de cargas. ....	60
2.3.	Análisis Estático lineal.....	61
2.3.1.	Módulo de elasticidad. ....	62
2.3.2.	Curva fuerza-deformación. ....	62
2.4.	Análisis Estático no lineal.....	63
2.4.1.	La rótula plástica.....	64
2.4.2.	Curva de Capacidad.....	65
2.4.3.	Espectro de capacidad. ....	65
2.4.4.	Columna fuerte viga débil. ....	66
2.5.	Desempeño sísmico.....	66
2.5.1.	Nivel de desempeño. ....	66

2.5.1.1.	Nivel de desempeño para la estructura.....	66
2.5.1.2.	Nivel de desempeño para los componentes no estructurales.....	67
2.5.1.3.	Niveles de desempeño de la estructura.....	67
2.6.	Especificaciones del bloque de Mecánica.....	69
3.	CAPITULO.....	71
3.1.	Metodología.....	71
4.	CAPITULO.....	73
4.1.	Análisis de resultados. ....	73
4.2.	Materiales Utilizados. ....	73
4.3.	Módulo de elasticidad.....	73
4.4.	Cálculo de Carga Muerta. ....	73
4.4.1.	Losa.....	74
4.4.2.	Columnas. ....	75
4.4.3.	Vigas.....	76
4.4.3.1.	Piso 1.....	76
4.4.3.2.	Piso 2.....	76
4.4.4.	Mampostería.....	77
4.4.5.	Cerámica. ....	79
4.4.6.	Cielo Raso. ....	80
4.4.7.	Resumen de carga muerta de toda la estructura.....	81
4.5.	Cálculo de Carga Viva.....	81
4.6.	Zona sísmica y factor Z. ....	82
4.7.	Coeficiente de perfil de suelo Fa, Fd y Fs. ....	83
4.8.	Periodo de vibración de la edificación.....	84
4.8.1.	Espectro Elástico.....	84

4.8.1.1.	Espectro elástico de aceleraciones Nec-15. ....	86
4.9.	Modelamiento del bloque de Mecánica mediante el software SAP 2000. 87	
4.9.1.	Creación de ejes.....	87
4.9.2.	Ejes vista en planta.....	88
4.9.3.	Definir el material.....	89
4.9.3.1.	Acero.....	89
4.9.3.2.	Hormigón. ....	90
4.9.4.	Creación de las propiedades. ....	91
4.9.4.1.	Columna.....	91
4.9.4.2.	Viga.....	91
4.9.4.3.	Losa. ....	92
4.9.4.4.	Muro.....	93
4.9.5.	Modelamiento de columnas, vigas y viguetas. ....	93
4.9.6.	Modelación de la losa.....	94
4.9.7.	Definición de cargas. ....	94
4.9.8.	Peso sísmico. ....	95
4.9.9.	Aplicación de cargas.....	95
4.9.9.1.	Carga viva aulas 0,20 (NEC-15, 2015). ....	95
4.9.9.2.	Carga viva corredores 0,48 (NEC-15, 2015).....	96
4.9.9.3.	Carga muerta. ....	96
4.9.10.	Creación de diafragmas por piso. ....	97
4.9.11.	Carga y cortante basal del programa.....	97
4.9.12.	Espectro NEC-15.....	98
4.9.13.	Espectro NEC-11.....	98

	4.9.13.1. Coeficiente de perfil de suelo Fa, Fd y Fs. ....	98
	4.9.14. Coeficiente estático. ....	100
	4.9.15. Combinaciones de carga NEC-15. ....	101
	4.9.16. Combinaciones de carga NEC-11. ....	101
	4.10. Análisis estático lineal. ....	102
	4.10.1.1. Igualar los cortantes basales NEC-15. ....	102
	4.10.1.2. Igualar de los cortantes basales NEC-11. ....	102
15.	4.10.2. Chequeo de las fuerzas laterales con Sap 2000 y cálculo manual NEC-103	
11.	4.10.3. Chequeo de las fuerzas laterales con SAP 2000 y cálculo manual NEC-103	
	4.10.4. Comparación de la carga y cortante basal NEC-15.....	103
	4.10.5. Comparación de la carga y cortante basal NEC-11.....	104
	4.10.6. Modales NEC-15. ....	104
	4.10.7. Modales NEC-11. ....	104
	4.10.8. Deriva NEC-15.....	105
	4.10.9. Deriva NEC-11.....	105
	4.11. Estático no lineal (Pushover).....	105
	4.11.1. Creación de carga gravitacional. ....	106
	4.11.2. Creación de carga Pushover X.....	106
	4.11.3. Convergencia.....	107
	4.11.4. Espectro pushover.....	107
	4.11.5. Rotulas plásticas.....	108
	4.11.6. Pasos de Desempeño .....	109
	4.11.7. Curva de Capacidad.....	118
	4.11.7.1. Curva FEMA 356.....	118

4.11.8.	Curva ATC-40.....	121
5.	CAPITULO.....	124
5.1.	Conclusiones.....	124
5.2.	Recomendaciones.....	126
5.3.	Bibliografía. ....	127
5.4.	Anexos. ....	130
5.4.1.	Planos Estructurales.....	130
5.4.1.1.	Planta General de Cimentaciones. ....	130
5.4.1.2.	Planta de Vigas Piso Terminado Nivel $\pm 00,00$ . ....	131
5.4.1.3.	Planta de Vigas Piso Terminado Nivel $\pm 03,45$ . ....	132
5.4.1.4.	Planta de Cubierta Media Agua Sobre Ingreso.....	133
5.4.1.5.	Planta Cubierta con Policarbonato.....	134
5.4.1.6.	Detalle de columnas Metálicas .....	134

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de periodo de Vibración-Estructuras de Acero, Método 1. .....	43
Tabla 2: Comparación de valores y parámetros de NEC-11 y NEC-15.....	60
Tabla 3: Comparación de combinación de carga de NEC-11 y NEC-15. ....	60
Tabla 4: Módulo de Elasticidad- .....	73
Tabla 5: Especificaciones de losa Deck. ....	75
Tabla 6: Cálculo de columnas. ....	75
Tabla 7: Cálculo de peso de vigas y viguetas de piso 1. ....	76
Tabla 8: Cálculo de peso de vigas y viguetas de piso 2. ....	76
Tabla 9: Resumen del total de peso de vigas y viguetas.....	77
Tabla 10: Cálculo de peso de mampostería Piso 1. ....	78
Tabla 11: Cálculo de peso de mampostería Piso 2. ....	78
Tabla 12: Resumen de peso de mampostería.....	79
Tabla 13: Cálculo de peso de cerámica Piso 1.....	79
Tabla 14: Cálculo de peso de cerámica Piso 2.....	80
Tabla 15: Resumen de peso de cerámica. ....	80
Tabla 16: Cálculo de peso de cielo raso Piso 1.....	80
Tabla 17: Cálculo de peso de cielo raso Piso 2.....	81
Tabla 18: Resumen de peso de cielo raso. ....	81
Tabla 19: Resumen de Carga de Muerta. ....	81
Tabla 20: Resumen de peso de Carga Viva.....	82
Tabla 21: Periodo de vibración Nec-15. ....	84
Tabla 22: Puntos de inserción del espectro.....	84
Tabla 23: Cortante de Diseño.....	85
Tabla 24: Igualar cortantes Basales Nec-15.....	102
Tabla 25: Igualar los cortantes Basales Nec-11. ....	102
Tabla 26: Comparación de la carga y cortante basal Nec-15.....	104
Tabla 27: Comparación de la carga y cortante basal Nec-11.....	104
Tabla 28: Modal participación de masa Nec-15.....	104
Tabla 29: Modal participación de masa Nec-11.....	104

Tabla 30: Deriva en X Nec-15. ....	105
Tabla 31: Deriva en Y Nec-15. ....	105
Tabla 32: Deriva en X Nec-11. ....	105
Tabla 33: Deriva en Y Nec-11. ....	105

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1: Periodo de vibración.....	42
Ec. 2: Periodo de vibración, método 1.....	42
Ec. 3: Periodo de vibración, método 2.....	43
Ec. 4: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. ....	44
Ec. 5: Cortante basal de diseño.....	46
Ec. 6: Coeficiente estático. ....	50
Ec. 7: Deriva máxima inelástica de piso. ....	51
Ec. 8: Cortante basal de diseño.....	57
Ec. 9: Periodo de vibración, método 1.....	58
Ec. 10: Deriva máxima inelástica de piso. ....	59
Ec. 11: Módulo de Elasticidad de hormigones empleados en el Ecuador. ....	62
Ec. 12: Módulo de Elasticidad de hormigones empleados en el Ecuador. ....	73
Ec. 13: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño .....	84
Ec. 14: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones. ....	84

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de la edificación.....	34
Ilustración 2: Ubicación de la edificación.....	35
Ilustración 3: Perfiles de Suelo para el diseño sísmico NEC-15.....	38
Ilustración 4: Mapa de zonificación sísmica de Ecuador NEC-15.....	39
Ilustración 5: Factores de zona sísmica NEC-15.....	39
Ilustración 6: Modelo de Espectro elástico de aceleraciones NEC-15.....	41
Ilustración 7: Valores de $F_a$ para los distintos tipos de suelo NEC-15. ....	44
Ilustración 8: Valores de $F_d$ para los distintos tipos de suelo NEC-15 .....	45
Ilustración 9: Valores de $F_s$ para los distintos tipos de suelo NEC-15.....	45
Ilustración 10: Factores de sitio para el Barrio Carcelén. ....	45
Ilustración 11: Coeficiente de importancia de la Edificaciones NEC-15. ....	47
Ilustración 12: Coeficientes de irregularidad en planta. ....	48
Ilustración 13: Configuración en planta y en elevación recomendadas, NEC-15. .....	49
Ilustración 14: Factor de Reducción de Resistencia NEC-15. ....	50
Ilustración 15: Valores de Derivas máximos.....	52
Ilustración 16: Mapa para diseño sísmico y valor del factor Z. ....	52
Ilustración 17: Valores del Factor Z en función de la zona sísmica adoptada. ...	53
Ilustración 18: Clasificación de los perfiles de suelo.....	53
Ilustración 19: Tipo de suelo y Factores de sitio $F_a$ .....	54
Ilustración 20: Tipo de suelo y Factores de sitio $F_d$ .....	54
Ilustración 21: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo $F_s$ .....	54
Ilustración 22: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. ....	55
Ilustración 23: Coeficientes de irregularidad en planta. ....	56
Ilustración 24: Configuración en planta y en elevación recomendadas, NEC-15. .....	57
Ilustración 25: Coeficiente de reducción de respuesta estructural R. ....	59
Ilustración 26: Valores de Derivas máximos.....	60

Ilustración 27: Factor de Módulo de Elasticidad hormigones de peso normal empleados en el Ecuador.....	62
Ilustración 28: Cálculo de la Fuerza Cortante en las Rótulas Plásticas, detallado de Miembros y conexiones.....	64
Ilustración 29: Niveles de desempeño de la edificación. ....	68
Ilustración 30: Determinación de rango de desempeño por medio de un acelograma. ....	69
Ilustración 31: Niveles de seguridad según las rotulas plásticas. ....	69
Ilustración 32: Catálogo de Secciones de Novalosa.....	74
Ilustración 33: Catálogo de capacidad de Cargas Novalosa. ....	75
Ilustración 34: Peso por m <sup>2</sup> de mampostería. ....	77
Ilustración 35: Valores de cargas por unidad de superficie obtenidos.....	78
Ilustración 36: Peso de cerámica por m <sup>2</sup> . ....	79
Ilustración 37: Carga muerta de cielo raso. ....	80
Ilustración 38: Carga viva de aulas y corredores.....	82
Ilustración 39: Carga viva de cubierta ....	82
Ilustración 40: Tipo de suelo.....	83
Ilustración 41: Espectro Elástico de aceleración del bloque de Mecánica Universidad Sek. ....	86
Ilustración 42: Definición de ejes en Sap 2000.....	87
Ilustración 43: Vista planta de ejes en Sap 2000.....	88
Ilustración 44: Definición de acero en Sap 2000. ....	89
Ilustración 45: Definición de hormigón en Sap 2000. ....	90
Ilustración 46: Creación de Columnas en Sap 2000.....	91
Ilustración 47: Creación de Vigas en Sap 2000.....	91
Ilustración 49: Todas las vigas y viguetas en Sap 2000. ....	92
Ilustración 50: Creación de Losa en Sap 2000.....	92
Ilustración 51: Creación de Muro en Sap 2000.....	93
Ilustración 52: Modelamiento de columnas, vigas y viguetas en Sap 2000.....	93
Ilustración 53: Modelamiento de Losa en Sap 2000.....	94
Ilustración 54: Definición de cargas en Sap 2000.....	94

Ilustración 55: Definición de peso sísmico.....	95
Ilustración 56: Aplicación de carga viva de aulas en Sap 2000.....	95
Ilustración 57: Aplicación de carga viva de corredores en Sap 2000. ....	96
Ilustración 58: Aplicación de carga muerta en Sap 2000.....	96
Ilustración 59: Creación de Diafragmas por piso en Sap 2000.....	97
Ilustración 60: Cargas y cortante basal en Sap 2000.....	97
Ilustración 61: Espectro Nec-15 en Sap 2000.....	98
Ilustración 62: Coeficiente del suelo, periodo de vibración y cortante de diseño. .....	99
Ilustración 63: Espectro elástico de aceleración Nec-11 del bloque de Mecánica de la Universidad Sek. ....	99
Ilustración 64: Espectro elástico de aceleración Nec-11 en el Sap 2000. ....	100
Ilustración 65: Coeficiente elástico en Sap 2000.....	100
Ilustración 66: Combinaciones de carga Nec-15 en Sap 2000.....	101
Ilustración 67: Combinaciones de carga Nec-11 en Sap 2000.....	101
Ilustración 68: Igualar los cortantes basales Nec-15 en Sap 2000.....	102
Ilustración 69: Igualar los cortantes basales Nec-11 en Sap 2000.....	102
Ilustración 70: Fuerzas laterales Nec-15 en Sap 2000.....	103
Ilustración 71: Fuerzas laterales Nec-11 en Sap 2000.....	103
Ilustración 72: Comparación de la carga y cortante basal Nec-15 en Sap 2000. .....	103
Ilustración 73: Comparación de la carga y cortante basal Nec-11 en Sap 2000. .....	104
Ilustración 74: Creación de Carga gravitacional en Sap 2000.....	106
Ilustración 75: Creación de carga gravitacional en Sap 2000.....	106
Ilustración 76: Parámetros para la solución del desplazamiento en Sap 2000.	107
Ilustración 77: Espectro Pushover en Sap 2000.....	107
Ilustración 78: Aplicación de Rotulas Plásticas en Sap 2000. ....	108
Ilustración 79: Aplicación de Rotulas Plásticas en columnas en Sap 2000. ....	108
Ilustración 80: Aplicación de Rotulas Plásticas en Sap 2000. ....	109
Ilustración 81: Aplicación de Rotulas Plásticas en vigas en Sap 2000. ....	109

Ilustración 82: Paso 1 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	110
Ilustración 83: Paso 1 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	110
Ilustración 84: Paso 2 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	111
Ilustración 85: Paso 2 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	111
Ilustración 86: Paso 3 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	112
Ilustración 87: Paso 3 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	112
Ilustración 88: Paso 4 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	113
Ilustración 89: Paso 4 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	113
Ilustración 90: Paso 5 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	114
Ilustración 91: Paso 5 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	114
Ilustración 92: Paso 6 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000. ....	115
Ilustración 93: Paso 6 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	115
Ilustración 94: Paso 7 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	116
Ilustración 95: Paso 8 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	116
Ilustración 96: Paso 9 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	117
Ilustración 97: Paso 10 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000. ....	117
Ilustración 98: Curva capacidad vs desplazamiento con Pushover X en Sap 2000. .....	118
Ilustración 99: Curva capacidad vs desplazamiento con Pushover Y en Sap 2000. .....	118
Ilustración 100: FEMA 356 curva método de coeficiente con Pushover x. ....	119
Ilustración 101: FEMA 356 curva método de coeficiente con Pushover y. ....	120
Ilustración 102: ATC 40 curva de capacidad del espectro Pushover x. ....	121
Ilustración 103: ATC 40 curva de capacidad del espectro Pushover y. ....	122
Ilustración 104: Curva de capacidad ATC-40. ....	122
Ilustración 105: Desplazamiento Paso 1. ....	123
Ilustración 106: Planta general de cimentaciones. ....	130
Ilustración 107: Planta de vigas piso terminado Nivel $\pm 00,00$ . ....	131
Ilustración 108: Planta de vigas piso terminado Nivel $\pm 03,45$ . ....	132
Ilustración 109: Planta de cubierta media agua sobre Ingreso. ....	133
Ilustración 110: Planta cubierta con policarbonato. ....	134

Ilustración 111: Detalle de columnas metálicas..... 134

# 1. CAPITULO.

## 1.1. Antecedentes.

En todo el mundo se han registrado innumerables sucesos sísmicos donde las estructuras se colocan tentativamente a la resistencia que contiene.

El continente Sudamericano, en donde se encuentra ubicado el Ecuador está expuesto a riesgos sísmicos; debido a que está en una zona identificada como Cinturón de Fuego; en la cual, las placas tectónicas tienen movimientos bruscos, que en la superficie causa innumerables pérdidas tanto en la parte humana como en la económica. A razón que las edificaciones no cuentan en su gran mayoría con estudios previos y adecuados a la construcción de la edificación acorde a las zonas en las que se realizan, así como este factor, hay un sin número de puntos a considerar como es la utilización de materiales de construcción de mala eficacia que no llevan un control de calidad y la remodelación o cambio de uso de la estructura.

El Ecuador al estar situado en el Cinturón de fuego del Pacífico, en el cual se concentra la mayor fracción de energía sísmica del mundo; lo convierte en una zona de riesgo de gran magnitud sísmica que causa mucho daño en las estructuras, tal cual lo recopila en datos históricos el Instituto Geográfico Militar, institución que reconoce al territorio ecuatoriano como una superficie de movimientos telúricos de mediana y alta intensidad, donde se registran sucesos considerables.

Ciudades o pueblos enteros se han visto afectados por la destrucción de estructuras y muerte de personas que han quedado atrapadas al momento de fallas en las edificaciones (Moreno González & Bairán García, 1998), misma que presentan parámetros detallados del comportamiento inadecuado en las edificaciones durante el sismo.

En los últimos años la parte costera del país ha sido víctima de actividades sísmicas fuertes y que ha ocasionado daños irreversibles desde el ámbito estructural, por lo cual tanto expertos como el gobierno nacional deben tener presente la necesidad de contar con estructuras que sean resistentes a cualquier tipo de movimiento o desastre natural, así como, el que todas las edificaciones existentes tienen que ser analizadas para verificar un buen desempeño frente al movimiento sísmico.

Un claro ejemplo a lo anteriormente expuesto en el párrafo anterior suscitó en el año 2016 en Pedernales, donde fallaron y colapsaron el 80% de edificaciones producto de la actividad sísmica del terremoto ocurrido el 16 de abril de aquel año, donde el epicentro fue esta ciudad; lugar en el que se produjo una cantidad considerable de muertes (Lara , Aguirre, & Gallegos, M, 2016).

Ante esta situación, se origina el grado más alto de importancia del presente trabajo de titulación, en el cual se pretende realizar un análisis de desempeño, enfocado en la estructura que posee el bloque de Mecánica de la Universidad Internacional Sek; ubicada en la ciudad de Quito, al norte de la capital, donde como el resto del país pudo sentir el movimiento telúrico ocasionado en el año 2016, tras el terremoto. Este análisis se lo realiza con la finalidad de garantizar que el bloque este en perfecto funcionamiento aun después de algún movimiento telúrico y minimizar las fallas estructurales, como vidas humanas y pérdidas económicas.

Se ha detectado que desde el año 1994 hasta la actualidad, año 2021, se han patentado 1758 sismos con magnitud y profundidad considerables (Alvarado et, 2014) tomando en cuenta que la mayor cantidad de sismos que han sucedido en el país, tienen como características profundidad menores a 20 km.

No obstante, cabe destacar que, en el Ecuador, según datos del Instituto Geográfico Militar los sismos registrados ventajosamente han sido de baja magnitud como de 3.5 en la escala de Richter; por lo cual se tiene un promedio de 35 sismos anuales.

Por otro lado, existen sismos de gran profundidad que, pese a tener un alto grado de magnitud no causan más daño que los superficiales, ante este enunciado se concluye que la zona costera ecuatoriana, al estar bordeada por el movimiento telúrico de las placas marinas tiene un alto índice de amenaza Sísmica, que se llega a extender a la zona de la Sierra y finalizando con la zona amazónica del Ecuador. Es decir, desde el conocimiento de la ingeniería civil, la magnitud con la que se suscita el sismo en la región costera no es igual que en el resto de las regiones del país; a razón que el impacto más fuerte se va a dar donde se encuentra el epicentro del sismo y se replica con menor magnitud e intensidad en el resto del territorio nacional, por lo que en el ámbito de la construcción no es lo equivalente construir en la ciudad de Esmeraldas, donde la

amenaza Sísmica es muy alta, que construir en el Tena que tiene una amenaza sísmica menor. (Aguiar R. , 2003)

Ante esta premisa y enfocados en el tema del presente trabajo de titulación, la ciudad de Quito, zona en la que se centra el estudio del Análisis de desempeño del bloque de Mecánica de la Universidad Sek, se debe destacar que la capital del Ecuador está comprendida alrededor de 40 km de longitud y de ancho tiene entre 6 a 12 km, con gran densidad de población que rige a lo largo de toda la ciudad tomando en cuenta que sectores como el Centro Norte de la ciudad, comprende un alto índice de población; esto según los datos obtenidos y de bienestar público que ofrece el Instituto Nacional de Censos y Estadísticas, datos del último año 2010 registra, que en este sector Centro Norte, donde se encuentra ubicado el bloque de Mecánica de la Universidad Sek; por lo general el índice de población se concentra en edificios grandes. (Aguiar Falconí, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO, 2017)

Sin embargo, hay puntos a considerar para la construcción de dichas edificaciones, a razón que existe las conocidas “fallas ciegas de Quito” por el relieve que tiene la ciudad y que actualmente se registran activas; lo que quiere decir que en cualquier momento se puede presentar es desastre natural y para evitar dichas catástrofes se debe considerar el análisis respectivo estructural por un profesional calificado.

Por ejemplo, la actividad sísmica que se dio el 12 de agosto del 2014 con magnitud de 5.1 en la escala de Richter, con poca profundidad local, fue un sismo muy notable para los habitantes de la parte norte de Quito que generó miedo e incertidumbre por los daños que causaron a edificaciones cercanas al epicentro del sismo. (Aguiar Falconí, Sismos en Quito, 2014)

Si bien hasta el momento no se ha podido predecir la presencia de este u otros sismos y su concurrencia, lo que sí se puede prevenir antes que ocurra; es tomar en cuenta en base a los datos históricos de los sucesos ocurridos, que problemas generaron cada uno de ellos en cuanto a perdidas material y estructurales, a fin de evitar que en próximas ocasiones al suscitarse dichos eventos los daños sean mayores.

Por ello, también la responsabilidad del ser humano en cumplir con los estudios previos, un análisis de materiales conforme a los estudios técnicos y regulados para la

construcción como también el cuidado del medio ambiente, que es un factor externo que influye directamente para que estos eventos catastróficos ocurran.

Es aquí, donde converge la presencia de la sismología, ciencia que tiene experiencia innata en este tema; debido a que su estudio se basa analizar todos los parámetros que necesitan atención, con la finalidad de brindar una guía para una mejora en las construcciones en base a las normas que se emplee en cada país, que para el caso del Ecuador son las Normas Ecuatorianas de las Construcción (NEC-15) las cuales son parte fundamental de este estudio.

En consecuencia, a recibir la titulación en la rama de la ingeniería civil, el no considerar dichas normas, sería una falla muy grave, porque como se ha expuesto es de suma importancia dar cumplimiento a los requisitos mínimos para que la estructura no tienda a fallar, o soportando las cargas sísmicas; lo cual se pretende demostrar ante el análisis estático lineal y no lineal del presente trabajo de investigación.

## **1.2. Título.**

Análisis de desempeño del edificio de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK, mediante la comprobación del análisis estático lineal y no lineal.

## **1.3. Planteamiento del problema.**

El peligro sísmico en Ecuador, principalmente en la ciudad de Quito se ha visto afectado a lo largo de los sismos que han ocurrido según los datos históricos, para estar preparados a estos movimientos telúricos se deberá analizar cada estructura existente y nueva, para cotejar el desempeño de la estructura permitiendo identificar si este se encuentra dentro de los rangos aceptables para que no colapse la estructura, evitando tener pérdidas humanas y económicas, según las Normas Ecuatorianas de la Construcción (NEC15).

La construcción en análisis, objeto de estudio es el bloque de Mecánica del Campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek, el cual cuenta con una estructura de: 2 pisos, una cubierta en la cual esta distribuidas un espacio para aulas y salón de prácticas, él lo cual es utilizado como un taller. Además, la edificación está compuesta con estructura metálica y hormigón armado, diseñada y construida apegada

a la Norma Ecuatoria de la Construcción 2011 “NEC-11”, no obstante, cabe destacar que existe una actualización en dicha norma; principalmente en el capítulo de Peligro Sísmico, teniendo una variación en la capacidad de desempeño en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 “NEC-15” vigente, la cual es objeto de estudio en el presente trabajo de investigación.

Para obtener el análisis de desempeño del edificio se toma en cuenta el análisis estático lineal y no lineal, lo cual se cree que la estructura ejerce en el rango elástico, teniendo como resultado las deformaciones elásticas por acción que ocasiona la acción sísmica.

## **1.4. Definición de variable.**

### **1.4.1. Variable Dependiente. –**

El Desempeño estructural del Bloque Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek.

### **1.4.2. Variable Independiente. –**

Los materiales de construcción utilizados y la configuración estructural del Bloque de Mecánica de la Universidad Internacional Sek.

## **1.5. Relación de variable.**

Los materiales y la configuración estructural son muy importantes para realizar cualquier tipo de análisis, a razón que se debe conocer el estado situacional de la edificación, tomando en cuenta lo antes mencionado para utilizar herramientas de cálculo determinando así, el nivel desempeño que tiene la edificación.

## **1.6. Justificación.**

El presente trabajo investigación tiene como objetivo principal analizar la estructura del bloque de Mecánica del Campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek bajo los parámetros determinados pro la NEC-15.

Este estudio surge ante la necesidad de identificar si la estructura del bloque puede soportar la actividad sísmica frente a un desastre natural, tomando en cuenta que dicha edificación fue construida en el año 2012 y se basó en la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2011; donde especificaba parámetros adecuados para sismicidad,

pero ante las actualizaciones de la norma vigente para Riesgo Sísmico, tomando en cuenta las Norma Ecuatoriana de la construcción 2015 “NEC-15”, puede ser que está cumpla o no y por ello el presente trabajo de investigación, permitirá a la Universidad tomar las medidas necesarias o planes de contingencia en caso que el resultado del análisis no lineal (Pushover) muestra un nivel de desempeño no apto, bajo estas nuevas actualizaciones de la norma y que podría poner en peligro ante una catástrofe al cuerpo docente, alumano y por consecuente las pérdidas materiales con las que cuenta dicha edificación.

Basado en el modelo y los análisis propuestos, se obtendrá los resultados del nivel desempeño de la edificación en estudio en la que los principales beneficiados son: la población de estudiantes que ocupa el bloque de mecánica y la Universidad Internacional SEK, misma que debe y tiene la obligación de preservar la seguridad; evitando la pérdida de vidas humanas.

En base a los resultados se concluirá si dicha edificación necesita algún tipo de refuerzo en su estructura, como una hipótesis fundamentada al presente trabajo de titulación.

## **1.7. Hipótesis.**

¿Es adecuado el desempeño estructural del bloque de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK en relación con la normativa vigente conocida como la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 “NEC-15”?

## **1.8. Objetivos.**

### **1.8.1. Objetivo principal.**

Analizar el desempeño estructural del Bloque de Mecánica del Campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK, utilizando la Norma Ecuatoriana de construcción 2015 “NEC-15” y la Norma Ecuatoriana de construcción 2011 “NEC-11”; el software SAP 2000 mediante el análisis estático lineal y no lineal (Pushover) para relacionar el estado de la edificación y el desempeño ante la aplicación de esfuerzos sísmicos.

### **1.8.2. Objetivos secundarios.**

Sistematizar los fundamentos teóricos del análisis estático lineal y no lineal, mediante la aplicación de la NEC-11 y NEC-15 para determinar el desempeño de la edificación en estudio.

Evaluar la norma de construcción que se aplicó para la edificación NEC-11 vs la NEC-15, normativa actualmente vigente, mediante el detalle de parámetros de cada norma para determinar las variaciones y diferencias que pueden afectar a la estructura.

Realizar el Análisis Estático Lineal y No Lineal (Pushover) a través de la simulación del sismo mediante la aplicación de la NEC-11 y NEC-15, correspondiente a la construcción y a la norma vigente, que permita identificar el punto de desempeño de la estructura.

Contrastar los resultados del análisis estático lineal y no lineal obtenidos mediante el software SAP 2000, a fin de determinar el punto de desempeño con la curva de capacidad de la estructura.

### **1.9. Alcance.**

El trabajo de titulación a evaluar es un minucioso análisis de desempeño mediante la curva de capacidad del Bloque de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 actualmente vigente tomando en cuenta el capítulo de Riesgo Sísmico NEC-SE-RE.

Se considera un edificio regular de dos pisos de altura, los materiales utilizados son: estructura metálica y hormigón armado, donde se realiza el análisis estático lineal; con la norma construida la edificación y con la norma actualmente vigente; el análisis estático no lineal mediante el software Sap 2000.

### **1.10. Limitaciones**

El bloque de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional SEK, tiene 9 años de construcción aproximadamente, en los planos estructurales no cuenta con el detalle de conexiones columna-vigas, siendo una estructura muy irregular. Debido al limitado tiempo de análisis no se puede verificar el tipo de suelo con el estudio de suelo respectivo.

En el presente trabajo de titulación se realizará el análisis estático lineal y no lineal, utilizando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 y NEC-15, obteniendo así el

desempeño del edificio mediante la curva de capacidad, por lo cual no se incluirá el análisis dinámico lineal y no lineal.

## 2. CAPITULO.

### 2.1. Marco teórico.

Se visualiza que en la parte de la Sierra ecuatoriana no se ha presentado sismos fuertes, según los datos históricos del Instituto Geográfico Militar; lo cual puede ser un aviso de alerta que indica la acumulación de energía y es muy probable que se libere en algún momento, teniendo como resultado un sismo con alta magnitud causando fuertes pérdidas humanas y económicas. Para estar preparado de alguna manera se debería conocer el desempeño de las estructuras construidas, ya que en mayor parte la mano de obra no calificada afecta a la construcción de la edificación y así no toman en cuenta ningún parámetro de diseño. (Aguar R. , 2003)

En el Ecuador se trabaja con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), norma mencionada en el capítulo de Riesgo Sísmico, que se dedica a la investigación del fenómeno natural y requerimientos específicos para la construcción, rehabilitación y adecuación. En esta norma nos podemos regir para la valoración, diseño y recuperación de estructuras para profesional en el campo de la Ingeniería. Asumiendo como referencia la NEC-SE-RE-2015, donde se evalúan estructuras de ocupación especial para la ciudad de Quito (Cabezas Almeida, 2016).

Es esencial tener conocimiento de cómo actúa la estructura frente a la actividad sísmica y una herramienta que permite evaluarlo, es el Análisis de Desempeño sísmico tomando en cuenta que es un requisito vigente actualmente en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015. Un correcto análisis puede ayudar a identificar los problemas estructurales y poder corregir la estructura a tiempo, siendo este estudio fundamental para evitar el colapso es la única forma que esta clase de desastres naturales no sea catastrófica.

Es muy trascendental tener en balance el diseño estructural, la relación momento-curvatura de las secciones, teniendo como pensamiento estar al tanto de cuál es la capacidad de ductilidad por curvatura, cual es la máxima capacidad a flexión de la estructura y poder contrastar estas cantidades con las peticiones que se tiene en el diseño previamente realizado.

Si la edificación tiene muy poca ductilidad va a presentar una falla frágil cuando la estructura este en el rango no lineal, lo cual no se debe permitir. Es mejor tener un valor

alto de curvatura para que la edificación libere mayor energía posible, de esa manera trabajen todos los elementos en una forma adecuada.

El análisis del bloque de Mecánica de este estudio, se observará minuciosamente el comportamiento que tiene ante un evento sísmico, tomando en cuenta la normativa con la que fue diseñada y construida, la Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2011 “NEC-11”, comparando con los parámetros que tiene en el capítulo de peligro sísmico en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2015 “NEC-15” vigente actualmente.

El estudio de la estructura tendrá la evaluación a partir de los principales conocimientos estructurales tomando en cuenta la geometría, sistema constructivo y elementos; su peligro sísmico desde del estado estructural de la edificación actualmente, abordando el análisis lineal de acuerdo con los parámetros de la NEC-15 para luego pasar por un análisis no lineal evaluando su desempeño de la estructura.

El análisis en estructuras metálicas en Ecuador conlleva varios puntos de vista e interrogantes, como en su diseño y su técnica constructiva, es así como por normativas realizadas por FEMA (Federal Emergency Management Agency), donde en las normas mencionadas se lleva el análisis planteado de la estructura a determinar el lugar de desempeño.

El análisis basado en el desempeño óptimo de un edificio frente un sismo, a lo largo que avanza el diseño se hace una verificación de resultados para lograr el rendimiento deseado, el proceso se inicia identificando los principales parámetros para el estudio, con estos parámetros es tener en cuenta el riesgo de daños o pérdidas por peligro sísmico. La evaluación básica de desempeño se utiliza para determinar la capacidad del edificio ante un sismo, evaluando la cantidad de probable daño y determinar la probabilidad de consecuencia de dicho daño. (FEMA P-58-1, 2018)

El diseño sísmico basado en el desempeño y rendimiento es aplicable a edificios nuevos y existentes para mejorar la optimización de estos. Debido a que los edificios se diseñaron con una versión anterior del código, teniendo en cuenta todos los parámetros de un análisis de rendimiento aceptable en el rango de considerar que el edificio soporta un sismo, identificando la vulnerabilidad caracterizados por el sistema estructural. (FEMA P-58-6, 2018)

Con la distribución de fuerzas uniforme, las fuerzas laterales equivalentes se analizará diversas demandas sísmicas en cuanto los desplazamientos y distorsión de entrepiso que provoca cada uno de estos métodos. Con la gráfica del cortante basal vs desplazamiento de azotea se observa la diferencia entre el método Pushover y los parámetros del FEMA-273 mediante las cargas laterales según la altura del edificio, se observa el desplazamiento provocado en la estructura mediante pequeñas fuerzas que se aplican lateralmente en todos los pisos. (FEMA 273, Application of FEMA-273 and Analysis Modal Pushover, 1996)

Para la rehabilitación de la estructura después del análisis respectivo de lograr a través de medidas de rehabilitación basadas con la identificación de los elementos que fallaron o que pueden fallar durante el sismo, cada medida de rehabilitación será evaluada junto con la edificación, para que se logre la completa rehabilitación de la estructura se debe tomar en cuenta la rigidez, resistencia y deformación que tendremos de resultado a partir de modelo analítico bajo el rango de seguro. (FEMA 356, 2000)

### 2.1.1. Localización del Bloque de Mecánica.

El edificio en estudio de análisis de desempeño está ubicado al Norte de la ciudad de Quito, campus Migue de Cervantes calle Alberto Einstein s/n y 5ta. transversal, el bloque de Mecánica de la Universidad Internacional SEK.



Ilustración 1: Ubicación de la edificación.

Fuente: Google Maps.



Ilustración 2: Ubicación de la edificación.

Fuente: Google Maps.

### 2.1.2. Análisis de la estructura en estudio.

La presente edificación se analizará desde el comportamiento frente a la actividad sísmica, considerando la normativa para la que estuvo diseñada y construida, NEC-11, en balance con los parámetros del peligro sísmico de la normativa actual, NEC-15.

La valoración de la estructura se ejecuta con base al conocimiento de las principales propiedades de la estructura como son: la forma, los elementos, el sistema constructivo y el riesgo sísmico de la estructura. El análisis lineal actual se realiza de acuerdo con los parámetros especificados en la NEC-15, donde las puntuaciones de rendimiento se evalúan mediante análisis estático no lineal.

Por consiguiente, la respuesta sísmica ayuda a reconocer su desempeño mediante la obtención de fuerzas cortantes en la cimentación y fuerzas de deslizamiento inelásticas en el suelo, pero analiza el desempeño del edificio a través de curvas de potencia estructural obtenidas del análisis Pushover.

El análisis de la respuesta sísmica a través del cortante basal y derivas inelásticas permite observar la interacción frente a un sismo, sin dejar de lado examinar el desempeño de la estructura a través de la curva de la capacidad; la cual para obtener la curva antes mencionada se consigue a partir de un análisis Pushover, que se basa el análisis estático no lineal.

Los análisis estáticos y dinámicos que se menciona en la NEC-15 son análisis lineales, por lo cual se entiende que la estructura actúa en la condición elástica, teniendo como resultado las deformaciones elásticas por acción que ocasiona la acción sísmica.

### **2.1.3. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.**

Durante los movimientos que produce un sismo, las estructuras son afectadas por: su característica, configuración estructural, sistema de construcción, altura; así como también influye las características del terreno, los movimientos horizontales.

La estructura al estar sometida a movimientos ocasionados por el sismo se afecta notablemente, esto depende de las peculiaridades del suelo donde tiene la cimentación la edificación.

Por otro lado, las estructuras deben soportar la aceleración máxima horizontal, para lo cual; esta aceleración es aplicada en la base de la edificación y representada en forma de participación de la aceleración de la gravedad.

La filosofía de la normativa NEC en el capítulo de peligro sísmico indica que las estructuras deben desempeñar su finalidad; es decir deben ser capaces de soportar sismos. Tomando en cuenta la magnitud del movimiento que puede producir a la edificación, así evitando daños en los elementos estructurales y no estructurales, así como también un colapso de la construcción.

La edificación tiene que resistir las fuerzas aplicadas y tener las derivas de piso plásticas, que se encuentra en la categoría admisible por la norma NEC-11. Se debe verificar que la estructura pueda disipar energía cuando pase al rango inelástico mostrando una conducta dúctil.

El comportamiento de la estructura debe valorarse considerando los peligros sísmicos presentes en el área local, de acuerdo con las características de los elementos estructurales, el trazado en sí y las características del terreno sobre el que se asienta.

### **2.1.4. Análisis Sísmico NEC-SE-DS 2015.**

El análisis sísmico es un procedimiento que se realiza para comprender visualmente el comportamiento de una estructura en estudio en términos de acción sísmica. Los procedimientos de análisis sísmico le permiten determinar la fuerza lateral que actúa sobre una estructura, los edificios deben superar los defectos inelásticos tolerables.

El análisis sísmico se estudia según los parámetros planteados en la norma vigente, en el capítulo de peligro sísmico, donde nos indica el método de análisis estático lineal y análisis estático no lineal.

#### **2.1.5. Estudio de Suelo.**

Los estudios de suelos consideran todas las evaluaciones que deben realizarse sobre el suelo, la estructura de su condición y sus propiedades físicas. La investigación del suelo es un requisito preciso en el análisis estructural, ya que es posible distinguir la velocidad con la que las ondas de corte de un terremoto lo atraviesan. Una onda de corte u onda S es un tipo de onda definida por la que se mueve la partícula, en entornos terrestres, crean el mayor caos cuando se despiertan.

Las ondas sísmicas pueden propagarse a velocidades más rápidas o lentas, según las características del suelo. Por esta razón, las ondas sísmicas se estiman mediante análisis y diseño de edificios sísmicos. La velocidad de expansión de la onda de voltaje es un requisito básico para la caracterización, en el suelo donde se ubica la estructura.

Dependiendo de su estabilidad, los suelos pueden ser blandos, semiblandos, duros o muy duros, esta clasificación da una idea de la capacidad que proporcionan para la propagación de ondas de corte sísmicas sobre ellos. Es cierto que se trata de suelos blandos, porque son lo más resistentes posible a la propagación de ondas de corte, dan velocidades más bajas, a diferencia de los suelos blandos y duros tienen una velocidad de propagación de ondas S. El capítulo de riesgos sísmicos presenta una clasificación de suelos basados en la velocidad de propagación de ondas de corte, índice de plasticidad y características de contenido de agua.

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

Ilustración 3: Perfiles de Suelo para el diseño sísmico NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

### 2.1.6. Aceleración Sísmica y Zona Sísmica.

Es correcto conocer la aceleración sísmica, que es una medida de la aceleración que recibe el suelo durante el impacto de un movimiento. Esto se muestra como parte de la aceleración de la gravedad es una medida de la magnitud del movimiento de la Tierra y se deriva de los datos registrados por el acelerómetro local.

Para el análisis estructural, es necesario medir la aceleración sísmica. La aceleración sísmica se registra área por área sobre la base del estudio realizado y se refleja en las reglas de aplicación sobre peligro sísmico. Años de investigación proporcionan más datos y datos de aceleración sísmica más precisos cada vez que se recalibra el estándar local.

La aceleración sísmica es un mecanismo que proporciona una comprensión clara del daño que un terremoto puede causar a una estructura en una ubicación particular, ya que el daño estructural y no estructural que las fuerzas sísmicas causan al edificio está

completamente relacionado a la aceleración y velocidad de propagación del terremoto a través de ellos.

La zona sísmica considera mapas generados por varias aceleraciones sísmicas registradas por acelerómetros en una región. Estos son mapas que definen el riesgo sísmico en áreas que pueden variar de moderado a alto.

Los estándares de Construcción de Ecuador 2015 en el capítulo Riesgo de terremotos proporcionan un mapa de riesgo de terremotos para instaurar el nivel de riesgo de terremotos y el factor de aceleración sísmica (coeficiente Z) para el área. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

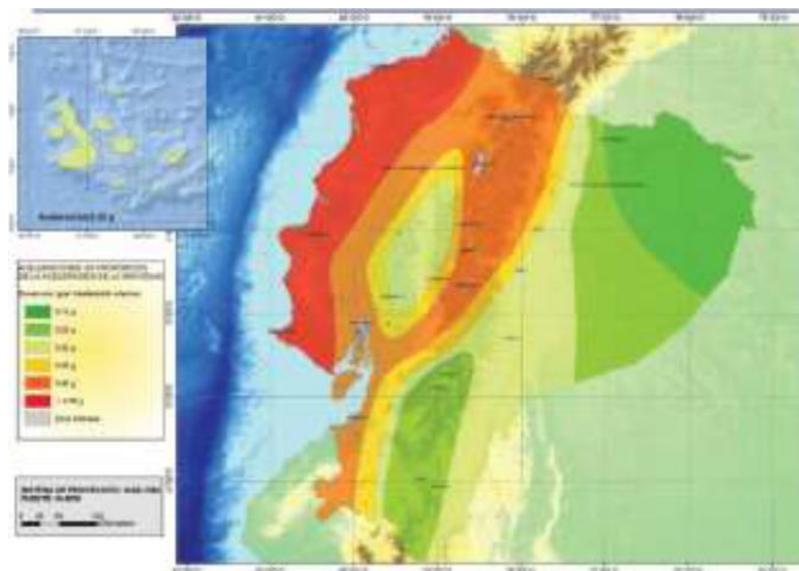


Ilustración 4: Mapa de zonificación sísmica de Ecuador NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

De acuerdo con el código de construcción ecuatoriano en el capítulo Riesgo Sísmico el mapa de arriba muestra que se llevó a cabo para un terremoto raro con una magnitud mayor al 10% en 50 años y con una probabilidad de 75 años. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

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

Ilustración 5: Factores de zona sísmica NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

La gestión de mapas de amenaza sísmica, que le permite ver los efectos de los terremotos y verificar su impacto en las estructuras, es la herramienta más útil conocida para reducir el daño sísmico a las estructuras.

### **2.1.7. Espectro de Respuesta de Aceleración.**

La vibración provocada por un terremoto se transfiere a la estructura a través de soportes como columnas, muros y la masa que resiste este impacto, se desplaza con respecto al suelo. Este comportamiento se simplifica asumiendo que el terremoto produce una fuerza lateral en el portal de la estructura de tamaño dado y cambio de tiempo dado.

La fuerza y deformación de la estructura durante un terremoto y no siempre actúa de forma lineal. Por tanto, las normativas locales se basan en la generación del espectro de respuesta elástica de las estructuras generadas por condiciones peligrosas. Duración de la vibración de una estructura, que representa la fuerza sísmica que actúa sobre un edificio. El espectro de respuesta es importante tomar en cuenta para la valoración sísmica de una estructura y mide la respuesta de la estructura a las vibraciones del suelo durante la ocurrencia de fenómenos físicos.

El espectro de respuesta reside en un gráfico que muestra la rapidez de la vibración a la que reconoce una estructura durante una etapa específico de vibración en caso de un terremoto. Este gráfico se deriva del registro de aceleración, combinado con la contribución de cada modo de vibración del mecanismo, para obtener un valor que representa la respuesta del mecanismo.

Consecuentemente, la normativa sísmica utiliza un espectro de diseño inelástico con fuerzas sísmicas reducidas, teniendo en cuenta la baja probabilidad de terremotos severos durante la vida útil del edificio y el potencial de comportamiento en la textura propuesta. Es dúctil, es decir, puede disipar la energía que recibe fuera de su rango elástico.

Para generar un espectro inelástico es necesario estar al tanto sobre el espectro elástico de la estructura y emplear un factor "R" específico en función del sistema estructural considerado.

El espectro de diseño se considera la base del análisis estructural porque sintetiza la respuesta dinámica de la estructura cuando se aplican fuerzas sísmicas, pero no toma

en cuenta información como el movimiento en el tiempo y el número de ciclos. (F. & V., 2002)

La Normativa Ecuatoriana de Edificación en el capítulo de riesgo sísmico propone un tipo de respuesta elástica de estructuras sujetas a la rapidez sísmica. Esto se puede calcular a partir del factor de zona sísmica, el tipo de suelo con la estructura y los parámetros de ganancia de suelo. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

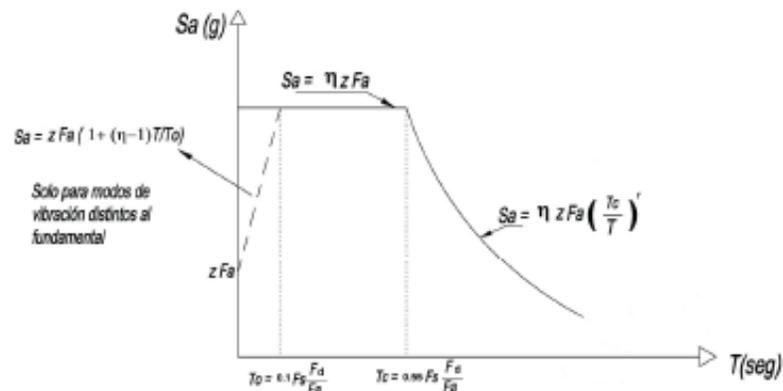


Ilustración 6: Modelo de Espectro elástico de aceleraciones NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

Dónde:

- Sa Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.
- T Periodo principal de vibración de la estructura.
- Z Aceleración máxima en roca para el sismo de diseño.
- Fa, Fd, Fs Coeficientes de amplificación de suelo.
- $\eta$  Razón entre la aceleración Sa y el PGA para el periodo el retorno.
- T0 Periodo límite de Vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones.
- Tc Periodo límite de Vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones.

### 2.1.8. Periodo de vibración de una estructura.

El tiempo de vibración se obtiene de la estructura donde es fundamental para el diseño sismo resistente, ver el tiempo de vibración para poder valorar si el comportamiento de la estructura será apropiado frente al movimiento.

El tiempo de vibración inicial de un edificio es un parámetro importante que ayuda a establecer los escenarios de seguridad estructural actuales. Normalmente existe

fórmulas empíricas para apreciar la etapa fundamental, donde se basan en investigaciones de edificios que fueron afectados, el estudio se realiza cuando la estructura está en movimiento lo cual se emplean modelos elaborados con elementos finitos. (Peralta Galvez, Tipaza, & Arroyo Matus, 2014)

El tiempo de vibración de la edificación depende de la masa y la rigidez que lo constituye, toma a representación del movimiento por que actúan cargas sobre la estructura, que son cargas vivas y cargas muertas, se logra encontrar la fórmula planteada.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

*Ec. 1: Periodo de vibración.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Donde:

m= Masa total de la estructura

k= Constante elástica o rigidez de la estructura

En el capítulo de Peligro Sísmico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 NEC-15, nos plantea dos métodos para calcular el periodo de vibración, los cuales se pueden estimar como un periodo inicial de la estructura, o es una limitación del periodo de vibración de valuación.

Método 1. –

$$T = C_t h_n^\alpha$$

*Ec. 2: Periodo de vibración, método 1.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Dónde:

T= Periodo de vibración de la estructura (seg).

$C_t$ = Coeficiente que depende del tipo de edificación.

$h_n$ = Altura total de la edificación (m).

Los valores de  $C_t$  y  $\alpha$  se obtiene de la tabla de la norma NEC-15, capítulo Peligro Sísmico, se escoge los valores de acuerdo con las características de la estructura.

TIPO DE ESTRUCTURA	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
<b>Sin Arriostramiento</b>	0.072	0.8
<b>Con Arriostramiento</b>	0.073	0.75

Tabla 1: Coeficientes de periodo de Vibración-Estructuras de Acero, Método 1.

Fuente: NEC-15 capítulo Peligro Sísmico.

Metodo2. –

Este método puede ser analítico o calculado manualmente. No debe exceder el 30% del valor obtenido en el Método 1.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}}$$

Ec. 3: Periodo de vibración, método 2.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

Dónde:

$f_i$  = Repartición aproximada de las fuerzas laterales en el piso i.

$\delta_i$  = Deflexión elástica del piso i.

$w_i$  = Peso asignado de cada piso (incluye la carga viva).

El número de modos de vibración considerados son tres en cada piso de la estructura, pero NEC15 toma en cuenta todos los modos de vibración que contribuyen elocuentemente a la respuesta general de la edificación, también involucran la colaboración de la masa al menos el 90% de la masa total de la estructura. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

### 2.1.9. Relación entre la aceleración $S_a$ y el PGA ( $\eta$ ).

Los valores varían según la región de Ecuador. Según NEC15 en el capítulo sobre riesgo sísmico, los siguientes valores son aceptables:

$\eta = 1.80$  Para Provincias de la Costa, excepto Esmeraldas.

$\eta = 2.48$  Para Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta = 2.60$  Para Provincias del Oriente.

Factor usado en el espectro elástico de diseño ( $r$ )

Sus valores dependen de la ubicación geográfica de la estructura.

- $r = 1$  Para todos los suelos, excepto los de tipo E.  
 $r = 1.5$  Para suelos tipo E.

### 2.1.10. Periodo límite de Vibración en el espectro sísmico elástico ( $T_c$ ).

El riesgo sísmico en este capítulo se calcula a partir de la fórmula propuesta por NEC 2015.

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

*Ec. 4: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

### 2.1.11. Coeficientes de Amplificación del suelo ( $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ ).

Amplifican las ordenadas del espectro elástico de reacción de aceleraciones ( $F_a$ ), y del espectro elástico de reacción de desplazamiento ( $F_d$ ).

Hay un tercer factor de ganancia de suelo ( $F_s$ ). Este factor considera la no linealidad del suelo, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la actividad sísmica, que depende de los desplazamientos del suelo cuando se aplica espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Los valores de ganancia de suelo se obtienen de la siguiente tabla proporcionada por NEC 2015 en el capítulo de riesgo sísmico.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥ 0,50
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85
F	VER: Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4 de NEC_SE_DS					

*Ilustración 7: Valores de  $F_a$  para los distintos tipos de suelo NEC-15.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥ 0,50
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5
F	VER: Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6,4 de NEC_SE_DS					

Ilustración 8: Valores de  $F_d$  para los distintos tipos de suelo NEC-15

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥ 0,50
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
F	VER: Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6,4 de NEC_SE_DS					

Ilustración 9: Valores de  $F_s$  para los distintos tipos de suelo NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

Según la microzonificación sísmica de suelo de Quito, divide en zonas y según estudio del suelo, con parámetros según sus investigaciones obtienen dependiente las zonas los factores  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  según la ubicación de la estructura, en el sector de Carcelén donde está ubicado el edificio de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek se tiene los siguientes factores: (Aguiar Falconí, Microzonificación Sísmica de Quito, 2013)

Carcelén	Sector 70	norte	0,850	0,775	1,100
<b>Barrio</b>	<b>Sector</b>	<b>Zona</b>	<b>F<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>d</sub></b>	<b>F<sub>s</sub></b>

Ilustración 10: Factores de sitio para el Barrio Carcelén.

Fuente: Roberto Aguilar Falconí, Microzonificación sísmica de Quito, Centro de Investigaciones Científicas Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Quito-Ecuador.

### 2.1.12. Fuerza Sísmica Total.

Esto, también conocido como fuerza cortante de cimentación de diseño, representa la fuerza lateral ejercida sobre la cimentación de un edificio por la acción de

un terremoto. NEC-2015 proporciona la fórmula para calcular la fuerza cortante de la base de diseño estático en el capítulo sobre peligros sísmicos.

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_p * \phi_E} * w$$

*Ec. 5: Cortante basal de diseño.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Dónde:

V Cortante Basal de Diseño.

I Coeficiente de importancia de la Estructura.

Sa Espectro de respuesta elástico de aceleraciones, depende del tiempo de vibración de la estructura.

$\phi_p, \phi_E$  Coeficientes de Irregularidad en Planta y en Elevación.

W Carga Sísmica Reactiva.

### **2.1.13. Cálculo de las variables.**

El factor de importancia (I) se utiliza para calcular el cortante basal de diseño y se basa en el uso del edificio. Los factores críticos aumentan durante y después de un sismo, o aumentan la necesidad de un diseño sísmico para las estructuras que van a sufrir daños menores.

En el capítulo de Riesgo Sísmico de NEC-15, hay una tabla que le permite determinar el factor de importancia de un edificio y puede tomar el valor según el destino del edificio.

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

*Ilustración 11: Coeficiente de importancia de la Edificaciones NEC-15.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

#### **2.1.14. Configuración en Planta y Elevación.**

Los factores de irregularidades ( $\phi_p$ ,  $\phi_E$ ) se utilizan para las irregularidades estructurales en las configuraciones de planta y elevación. La composición geométrica de la estructura nos permite determinar su vulnerabilidad a los efectos sísmicos en la estructura, por lo tanto, es importante tomar en cuenta la configuración en planta y elevación para análisis.

##### **2.1.14.1. Configuración en Planta $\phi_p$ .**

El mayor problema que puede ocurrir con las estructuras es la torsión, esto se debe a la baja resistencia del edificio a la acción de fuerzas laterales sobre el edificio.

##### **2.1.14.2. Torsión en planta.**

Esto se debe a las discontinuidades físicas observadas durante la construcción de la estructura y a la distribución asimétrica de la rigidez. Esto suele ocurrir cuando la composición del edificio contiene demasiados hoyos y protuberancias. El comportamiento torsional inadecuado de la estructura se puede verificar mediante análisis modal y la interferencia de cargas sísmicas en la estructura misma.

Esto se puede confirmar cuando el centro de gravedad de la edificación no concuerda con el centro de rigidez. Las anomalías de elevación y suelo examinadas por NEC en 2015 son:

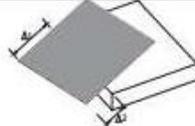
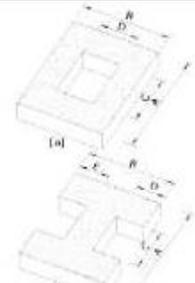
<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_w=0.9</math>  <math display="block">\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}</math> </p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida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

Ilustración 12: Coeficientes de irregularidad en planta.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

### 2.1.14.3. Configuración en elevación $\phi_E$ .

Para los edificios que ya se han construido, la penalización propuesta por NEC 2015 por configuración de planta y elevación debe incluirse en el cálculo del corte basal en caso de que el edificio sea irregular. De lo contrario, los valores de  $\phi_p$  y  $\phi_E$  serán igual a uno.

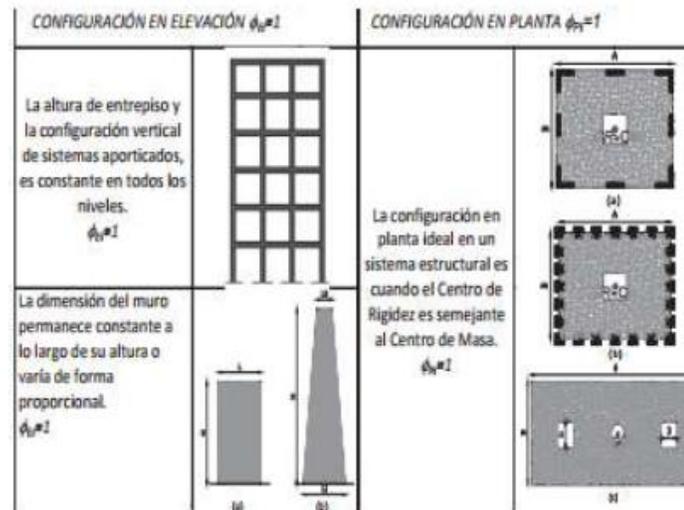


Ilustración 13: Configuración en planta y en elevación recomendadas, NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

### 2.1.15. Factor de reducción de resistencia (R).

Para examinar estructuras en base a criterios sismo resistentes, se utiliza reducciones con el fin de representar los resultados más reales del análisis elástico al aplicar cargas sísmicas, la respuesta inelástica de la estructura logrando valores que revelen resistencia lateral inferior a la resistencia elástica. (Alvarado Abad, 2015)

Para agregar a la simplificación mencionada anteriormente, se maneja el factor "R", acreditado como componente de reducción de la resistencia. Esto minimiza la fuerza sísmica simbolizada por el espectro elástico en comparación con el espectro inelástico manipulado para el diseño y análisis.

Las normas ecuatorianas aplicables por tipo de sistema estructural muestran el valor del elemento de reducción de resistencia en el capítulo de riesgo sísmico. Esto minimiza el impulso sísmico de diseño persistentemente que se mantengan la estructura y sus conexiones. Está diseñado para desenvolver un mecanismo de falla predecible con la plasticidad conveniente, enfocándose en secciones particularmente detalladas para que la falla se comporte como una bisagra de plástico. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

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

Ilustración 14: Factor de Reducción de Resistencia NEC-15.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

#### 2.1.16. Carga Sísmica Reactiva (W).

Representa la carga que actúa sobre la edificación debido al sismo de diseño. La carga viva reactiva es el peso de la estructura, que es la carga muerta total de la estructura. (Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, 2014)

$$W = \text{Carga Muerta total de la estructura} = D$$

#### 2.1.17. Coeficiente Estático.

Al obtener el corte basal pasando del espectro de diseño definido (análisis estático), se establecen los coeficientes estáticos frente a los valores obtenidos por el análisis estático, será igual a:

$$coef. \text{estático} = \frac{I * Sa}{R * \phi_p * \phi_E}$$

Ec. 6: Coeficiente estático.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

El coeficiente estático está determinado por el espectro elástico ( $S_a$ ) de la aceleración en función del período de oscilación que produce una contribución

significativa de la masa de la estructura por traslación en las orientaciones "x" e "y", correspondientes.

La fuerza cortante basal total conseguida por el proceso estático deberá satisfacer las siguientes circunstancias de acuerdo con NEC\_SE\_SD. Para construcción normal, la fuerza cortante basal se considera 80 % (V) obtenida de los coeficientes del método estático será igual a: O es menor que el valor de corte fundamental total (V) obtenido por espectroscopia dinámica.

Para estructuras irregulares, la fuerza cortante (V) obtenida por el método estático el 85% será menor o igual a la suma de la fuerza cortante basal (V) obtenida por el método de espectroscopía dinámica.

Si no se respeta el caso anterior, y en algunos casos de estructuras regulares o irregulares, es necesario cambiar el valor de la aceleración gravitacional para ajustar la fuerza cortante basal de manera que el método dinámico proporcione la fuerza cortante basal que existe. Puede efectuar con los requerimientos mínimos de diseño propuestos en la norma NEC-15.

#### **2.1.18. Deriva de Piso.**

La deriva del suelo simboliza el desplazamiento concerniente del suelo debido a la aplicación de una fuerza horizontal en el siguiente plano, se mide en dos puntos de la semejante línea vertical de la edificación.

Para deducir la deriva máxima del piso, se aplica la fórmula que se muestra en el capítulo de riesgo sísmico NEC-15.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_g$$

*Ec. 7: Deriva máxima inelástica de piso.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Dónde:

$\Delta_M$ : Deriva máxima inelástica de piso.

$\Delta E$ : Desplazamiento conseguido en aplicación de fuerzas laterales. (Deriva elástica)

R: Factor de reducción de Resistencia.

NEC 2015 muestra su capacidad para resistir la deriva del suelo. Este valor no debe exceder el siguiente valor, expresado como porcentaje de la altura del terreno analizado.

Tipo de Estructura	$\Delta_M$ Máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,02
De mampostería	0,01

Ilustración 15: Valores de Derivas máximos.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

## 2.1.19. La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011.

La NEC-11 hizo una actualización para lo que se tuvieron en cuenta los parámetros del cortante basal y el espectro inelástico ya que se utilizaban especificaciones diferentes tomando como referencia la norma anterior CEC 2000.

### 2.1.19.1. Zonificación Sísmica y Factor de Zona Z.

La zona sísmica nos indica que los mapas nos dan los seis sitios sísmicos del Ecuador, que se dan a partir de las diferentes aceleraciones sísmicas registradas por los acelerómetros, siendo éstos los que comprueban el peligro sísmico en una zona, el cual logra ir desde una zona intermedia a una zona muy alta de amenaza sísmica. (NEC, 2011)

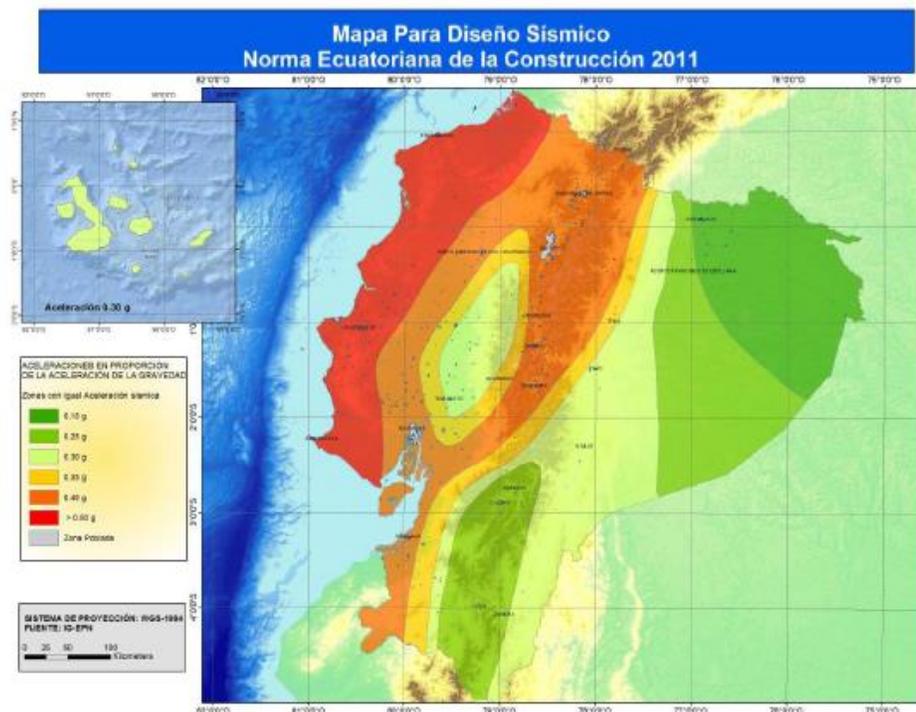


Ilustración 16: Mapa para diseño sísmico y valor del factor Z.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Ilustración 17: Valores del Factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

### 2.1.19.2. Tipos de perfiles de suelo.

Se limitan los tipos de suelo según los parámetros manejados en la clasificación que son convenientes a los 30 metros superiores del perfil, que se definen a seis características de perfiles de suelo los cuales son:

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100 \text{ KPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\bar{V}_s < 180 \text{ m/s}$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). 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> —Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Ilustración 18: Clasificación de los perfiles de suelo.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

### 2.1.19.3. Coeficiente de perfiles de suelo Fa, Fd y Fs.

El coeficiente Fa es el que amplifica la dirección del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota					

Ilustración 19: Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_d$ .

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

El coeficiente  $F_d$  es el que amplía la dirección del espectro de respuesta elástico de desplazamiento para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota					

Ilustración 20: Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_d$ .

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

El factor  $F_s$  es el que toma en cuenta comportamiento no lineal del suelo, la degradación del periodo en sitio que depende de la intensidad y la frecuencia que induce excitación sísmica, los desplazamientos relativos del suelo.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota					

Ilustración 21: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo  $F_s$ .

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

#### 2.1.19.4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura I.

La edificación acoge una de las siguientes categorías según su característica de utilización o de importancia de operatividad.

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

*Ilustración 22: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.*

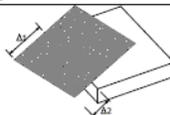
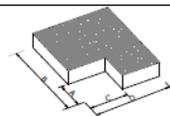
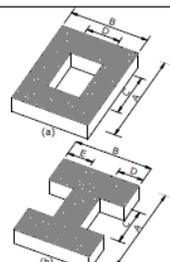
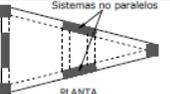
*Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.*

### **2.1.19.5. Irregularidades en Planta y Elevación.**

El Coeficiente de Irregularidad ( $\phi_p, \phi_E$ ), se utiliza para anomalías con la estructura ya sea por su proporción en planta o elevación. La configuración geométrica nos permite establecer qué tan sensible es la misma ante la acción de fenómenos sísmicos sobre ella, he ahí la importancia de tomar en cuenta la configuración en planta y en elevación para el análisis sísmico.

#### **2.1.19.5.1. Irregularidades en Planta $\phi_P$ .**

La complicación más grave que se puede presentar en la estructura es la de torsión, el cual se origina debido a la escasa resistencia que tiene la edificación a la acción de impulsos laterales sobre ella.

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

*Ilustración 23: Coeficientes de irregularidad en planta.*

*Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.*

### 2.1.19.5.2. Irregularidades en elevación $\phi E$ .

Una vez construida la edificación, se debe incluir las penalizaciones que propone la NEC-2015 de irregularidades en planta y en elevación para el cálculo de la cortante basal, en caso de que no tengan ninguna irregularidad los valores de  $\phi_p$  y  $\phi E$  serán igual a la unidad.

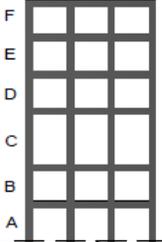
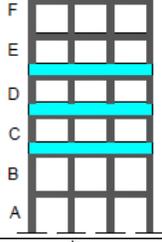
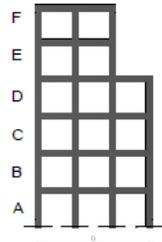
<b>IRREGULARIDAD PENALIZADA EN ELEVACIÓN</b>	
<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_{EI}=0.9</math>  Rigidez <math>K_c &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_o</math>  Rigidez <math>&lt; 0.80 \frac{(K_o + K_e + K_c)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de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

Ilustración 24: Configuración en planta y en elevación recomendadas, NEC-15.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

### 2.1.19.6. Carga sísmica Reactiva W.

Representa a la carga muerta total de la edificación más un 25% de la carga viva de piso. Para almacenes o estructuras de almacenamiento, se calcula la carga muerta más un 50% de la carga viva.

### 2.1.19.7. Fuerza sísmica para la estructura.

#### 2.1.19.7.1. Cortante basal de diseño.

La fuerza cortante total del proyecto V para soportar la carga final en una dirección particular está determinada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{I.Sa}{R.\phi P.\phi E} * W$$

Ec. 8: Cortante basal de diseño.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

En donde:

I= Factor de importancia definido.

W= Carga de la estructura.

Sa= Aceleración espectral elástico.

R= Factor de reducción de respuesta estructural.

ØP= Coeficiente de planta.

ØE= Coeficiente de elevación.

### **2.1.19.7.2. Periodo de vibración T.**

El capítulo sobre peligros sísmicos de las normas de construcción NEC-11 en Ecuador ofrece dos métodos para calcular el período de vibración, lo cual se toma en cuenta solo el primer método que se puede estimar como el período inicial de la estructura o el límite del período de vibración.

Método 1. –

$$T = C_t h_n^\alpha$$

*Ec. 9: Periodo de vibración, método 1.*

*Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.*

Dónde:

T= Periodo de vibración de la estructura (seg).

$C_t$ = Coeficiente que depende del tipo de edificación.

$h_n$ = Altura total de la edificación (m).

### **2.1.19.8. Factor de reducción sísmica R.**

Presenta los diferentes sistemas estructurales a utilizarse para la edificación.

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	
<b>Sistemas Duales</b>	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras, sean de hormigón o acero laminado en caliente.	7
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
<b>Pórticos resistentes a momento</b>	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en el capítulo 4, limitados a 2 pisos	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos	3
<b>Muros estructurales portantes</b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos	3

Ilustración 25: Coeficiente de reducción de respuesta estructural R.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

### 2.1.19.9. Deriva de piso.

La deriva de Piso simboliza el deslizamiento lateral de un piso, por acción de la fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo. Para el cálculo de las derivas máximas de piso, se aplica la formula indicada por la NEC-11 en su capítulo de Peligro Sísmico:

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_g$$

Ec. 10: Deriva máxima inelástica de piso.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

Dónde:

$\Delta_M$ : Deriva máxima inelástica de piso.

$\Delta_E$ : Desplazamiento obtenido en aplicación de fuerzas laterales. (Deriva elástica)

R: Factor de reducción de Resistencia.

La NEC 2011 indica un límite permitido para las derivas de piso, el cual no debe exceder, ya que un porcentaje de la altura de piso en análisis.

Estructuras de	$\Delta_M$ máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.020
De mampostería	0.010

Ilustración 26: Valores de Derivas máximos.

Fuente: NEC-11 Peligro Sísmico.

## 2.2. Comparación valores, parámetros de la norma NEC-11 y NEC-15.

PARAMETRO	NEC-11	NEC-15
Zona Sísmica Z	0,40 tipo V Alta	
Fa	1,2	0,85
Fd	1,4	0,775
Fs	1,5	1,1
Coficiente de Importancia I	1,3	
Coficiente en Planta ØP	0,9	
Coficiente en Elevación ØE	0,9	
Calculo del Periodo T	$T = C_t h_n^\alpha$	
Cortante Basal V	$V = \frac{I.Sa}{R.\ØP.\ØE} * W$	
Factores de Reducción Sísmica R	5	

Tabla 2: Comparación de valores y parámetros de NEC-11 y NEC-15.

Fuente: Autor.

### 2.2.1. Combinación de cargas.

Comparación de las combinaciones de cargas de las normativas NEC-11 y NEC-15.

# Combinación	NEC-11	NEC-15
1	1,4 D	
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr, S, R)	
3	1,2 D + 1,6 (Lr, S, R) + (L, 0,5 W)	
4	1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr, S, R)	
5	1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S	
6	0,9 D + 1,0 W	
7	0,9 D + 1,0 E	

Tabla 3: Comparación de combinación de carga de NEC-11 y NEC-15.

Fuente: Autor.

### 2.3. Análisis Estático lineal.

El llamado análisis estático equivalente, que tiende a simular los efectos de los terremotos mediante la distribución triangular de las cargas laterales del edificio, revela gran parte de la información obtenida sobre una base estructural. También sugiere que la deformación en la estructura está dentro del rango elástico. Esto se considera aceptable dados los parámetros NEC15 actualmente válidos.

El análisis estático lineal, se relaciona entre efecto de carga y respuesta de la estructura es lineal, así como también la relación esfuerzo deformación de los materiales, este análisis también es conocido como análisis estático equivalente, es utilizado para calcular desplazamientos, deformaciones unitarias, tensiones como también fuerzas que reaccionan bajo el efecto de carga aplicada, se aplican lenta y gradualmente hasta que logran sus magnitudes completas, es decir, las cargas permanecen constantes. (Peña, 2017)

Son suficientemente los pequeños desplazamientos inducidos para no tomar en cuenta el cambio en la rigidez producido por las cargas en la estructura, las situaciones no alteran durante la aplicación de las cargas que deben ser constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. (Peña, 2017)

Para realizar el procedimiento del análisis estático lineal lo que se hace es modelar como un sistema de un grado de libertad y teniendo una rigidez lineal, para obtener la distribución de fuerzas laterales lo que hace es que mediante el capítulo de peligro sísmico se calcula el cortante basal para poder determinar las fuerzas y desplazamiento internos de la edificación mediante este análisis. Para poder tener un punto de rendimiento máximo, lo que debemos hacer es modelar al edificio con una rigidez lineal y un amortiguamiento equivalente.

La correlación entre cargas y respuestas inducidas es lineal, si duplica las cargas la respuesta del modelo como los desplazamientos, las deformaciones unitarias y tensiones también se duplica. Pueden ejecutar la suposición de linealidad, cuando todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hook donde la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.

### 2.3.1. Módulo de elasticidad.

Se ha realizado un estudio Experimental del módulo de elasticidad de tres hormigoneras en Quito, se propone la ecuación basándonos a los resultados para hormigones en este caso la edificación es estructura metálica, pero tiene la loseta con un hormigón simple con una resistencia de  $f'c = \sqrt{210}$  kg/cm<sup>2</sup>. (Cabrera, 2014)

HORMIGONERA	Experimental	ACI 318	ACI 363	Factor	Factor	% Factor	
	Ec (Mpa)	Ec (Mpa)	Ec (Mpa)	f (Mpa)	f (Kg/cm <sup>2</sup> )	ACI 318	ACI 363
HORMIGONERA EQUINOCCIAL	19408	23593	23566	3869	12380	82,31	82,34
HORMIGONERA METRHORM	20218	24691	24341	3848	12314	81,87	82,91
HORMIGONERA QUITO	20818	25030	24581	3906	12501	83,12	84,49
PROMEDIO ARITMÉTICO	20148	24438	24163	3875	12400	82,43	83,25

Ilustración 27: Factor de Módulo de Elasticidad hormigones de peso normal empleados en el Ecuador.

Fuente: Henry Xavier Alejandro Cabrera, 2014.

Ecuación Propuesta:

$$Ec = 3875 \sqrt{f'c} \text{ (Mpa)}$$

$$Ec = 12400 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Ec. 11: Módulo de Elasticidad de hormigones empleados en el Ecuador.

Fuente: Henry Xavier Alejandro Cabrera, 2014.

### 2.3.2. Curva fuerza-deformación.

Se usa todas las referencias de los segmentos de la curva de carga-deformación para lograr una curva aproximada, de los componentes de toda la estructura-momento de acero, la curva puede ser rectificadas si se supone una pendiente de endurecido, por deformación de la pendiente elástica.

Se puede aplicar grandes pendientes de endurecimiento por deformación si son verificadas. Lo que se recomienda que la deformación sea considerada para todos los componentes. El parámetro Q son la carga generalizada de los componentes y la resistencia que tiene la edificación. Para las vigas y columnas se toma en cuenta la rotación plástica, el desplazamiento de la viga o columna.

## 2.4. Análisis Estático no lineal.

En el análisis estático no lineal (Pushover) es esencial estar al tanto de la relación momento-curvatura para hallar la rigidez de cada uno de los ejes que se maneja para concretar la no linealidad del material, la relación momento-curvatura es la parte más importante del análisis estático no lineal.

El análisis estático no lineal es una opción factible para localizar la respuesta de una estructura en lugar que un análisis no lineal dinámico que sería lo más adecuado, pero a la vez es complejo, este método es un gran avance a comparación del análisis lineal, con lo cual solo se espera afectación estructural de tal manera que no hay sustento en el estudio. (Aguilar & Ruiz, 2002)

El análisis estático no lineal reside en el empuje de una carga lateral que se incrementa hasta que alcance al colapso la edificación, por lo cual se refleja la capacidad de la estructura mediante la curva de capacidad “curva Pushover” en lo que hace correlación entre las cargas laterales y los desplazamientos producidos por los empujes aplicados. Los empujes que se aplican son distribuidos en todos los pisos de la edificación, con el cortante basal tomando en cuenta los parámetros de la NEC-SE-RE, las fuerzas laterales tienen distribución lineal que son monótonas aplicadas a los nodos del todo el modelo, van aumentando con control del desplazamiento de la parte superior de la estructura, este método permite identificar el miembro o miembro de la estructura que puede fallar, así como el desplazamiento máximo de los elementos de la edificación conociendo el rendimiento y estando dentro del rango inelástico.

Para el desempeño de la estructura el análisis estático no lineal es un paso intermedio entre el análisis elástico, donde lo más práctico que se utiliza es la técnica de pushover para localizar la curva de capacidad de resistente de las estructuras ante el sismo, curva donde especifica la relación del cortante basal  $V$  con el desplazamiento lateral máximo  $D_t$ .

Después de haber realizado el análisis estático lineal de la estructura con las respectivas comprobaciones, tanto por derivas de piso como capacidad por medio del análisis tradicional, tiene que trasladar la estructura al análisis estático no lineal, que ayuda a determinar el punto de desempeño de la edificación.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, utilizamos el software SAP2000, en que se puede observar el modelo Pushover, análisis estático no lineal, con los parámetros de estructura metálica en elementos laminados como soldados.

Varias entidades que investigaron la no linealidad los cuales publicaron ATC-40, FEMA-273, FEMA-356 y FEMA-440, que ayuda a definir la evaluación de las estructuras, así como la capacidad y limitación de desempeño. (Altamirano, 2019)

Para tener un análisis de desempeño correcto, que cumpla con todos los parámetros se puede basar en la norma (FEMA 273, FEMA 273 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, 1997). Utilizar las características elásticas de los componentes, utilizar la curva no lineal-momento e interacción de las vigas y columnas de viga como representación de la plastificación.

Para tener un buen análisis de desempeño por medio del análisis estático no lineal posee varios parámetros.

La rotula plástica.

Ingreso del modelo Pushover al SAP2000

Método bilineal para la Curva de capacidad.

Establecer del punto de Desempeño.

### 2.4.1. La rótula plástica.

Las pruebas han demostrado que las rotulas plásticas aparecen a una distancia de un 5% y 95% de la altura de las vigas en estructuras metálicas, medida desde el borde de la armadura o desde el inicio de la reducción de sección como se muestra en la siguiente figura.

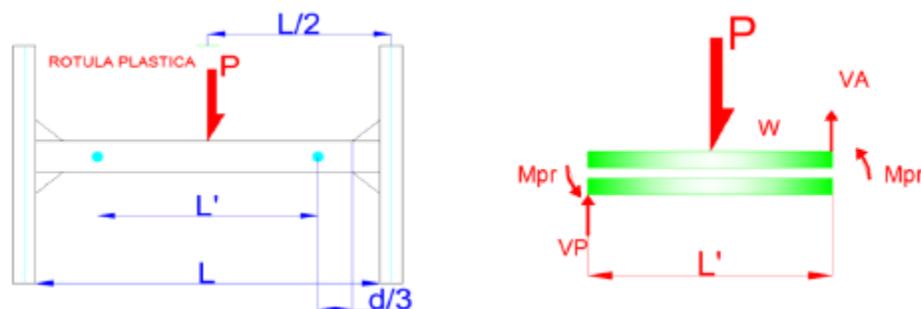


Ilustración 28: Cálculo de la Fuerza Cortante en las Rótulas Plásticas, detallado de Miembros y conexiones.

Fuente: El Código F.E.M.A., Utilizando Etabs

Para los elementos laminados se deben ingresar todos los datos respectivos al software SAP2000, primero revisar la rótula plástica una distancia de un 5% y 95% de la viga ya que es muy importante el ingreso de la articulación de toda la edificación para poder ejecutar tanto el modelo Pushover como el análisis estático no lineal, para realizar el análisis tanto para elementos laminados como soldados.

Bajo un buen análisis tanto como elementos laminados y soldados no existe mucho desacuerdo entre los puntos de desempeño, es necesario tener un parámetro de comparación para constatar si la estructura en análisis cumple con lo propuesto, que es Seguridad de Vida (FEMA 273, FEMA 273 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, 1997)

#### **2.4.2. Curva de Capacidad.**

La curva de capacidad limita la rotación de las vigas, la rotación puede estimarse añadiendo la rotación de rendimiento que da cada uno de los elementos estructurales a la rotación plástica. Como alternativa la rotación de la cuerda puede ser estimada igual a la deriva de piso.

La resistencia de la edificación es muy importante para evaluar la capacidad de deformación de los elementos estructurales. El análisis del comportamiento sísmico de los edificios a menudo incluye gráficos que muestran la correlación entre la fuerza cortante fundamental y el desplazamiento máximo que se produce después de la actividad sísmica.

Para lograr la curva de Capacidad es importante tomar en cuenta la diferenciación de las fuerzas en cada piso de la estructura, considerando la geometría del edificio donde se ve las secciones de columnas y vigas en el caso de acero u hormigón; ya que influye para obtener el análisis de capacidad.

#### **2.4.3. Espectro de capacidad.**

Los espectros con curvas de capacidad proporcionan un gráfico que muestra la relación entre el desplazamiento y la aceleración espectrales, pueden proporcionar soporte estructural para la actividad sísmica.

Utiliza el espectro de capacidad, que es el punto de movimiento máximo esperado del edificio, para determinar el desempeño de la estructura, que ocurre cuando el edificio está dentro de la tolerancia máxima para la demanda sísmica.

#### **2.4.4. Columna fuerte viga débil.**

Según los lineamientos del FEMA 356 del año 2000, se considera el evento de formación de rotulas plásticas a flexión en los extremos de las vigas y evitar la formación de rotulas plásticas en cabeza de columnas durante un sismo en los pisos de la edificación.

### **2.5. Desempeño sísmico.**

El procedimiento deseable de la edificación durante el sismo dependiendo de las diferentes intensidades, debido a ser cuantificado en fase conceptual, fase numérica y fase de ejecución; donde así se garantiza la calidad de diseño por un apropiado control de calidad de las estructuras (Terán, 1997); el desempeño sísmico tiene parámetros esenciales; el nivel de desempeño, el nivel de amenaza y el desempeño esperado de la estructura.

#### **2.5.1. Nivel de desempeño.**

Los niveles de desempeño son la condición de daño limitado de la estructura después del terremoto, la condición establecida con base en el daño físico, el peligro para los ocupantes de la estructura dañada afectada por este daño y la función del edificio después de la actividad sísmica. (ATC-40, 1996)

El ATC-40 del año 1996 detalla el nivel de desempeño para el edificio y el nivel de desempeño para los mecanismos no estructurales, por lo cual se define el nivel de desempeño de la edificación.

##### **2.5.1.1. Nivel de desempeño para la estructura.**

Describen los niveles de desempeño de la estructura:

- SP-1. Inmediata ocupación. – Resistente a cargas verticales y laterales permanece, daño estructural restringido, peligro de vidas es insignificante y la edificación mantiene su funcionamiento

- SP-2. Daño controlado. – Corresponde a un nivel de desempeño que varía entre los límites de inmediata ocupación y seguridad, no existe peligro de vidas, no obstante, es posible que terminen afectados.
- SP-3. Seguridad de vida. – Presunto daño revelador en la estructura, pero se mantiene todos los elementos estructurales y amenaza de vida a los ocupantes del edificio.
- SP-4. Seguridad limitada. – Nivel de desempeño que están entre los límites de seguridad y estabilidad estructural, con alto peligro de vida.
- SP-5. Estabilidad estructural. – Nivel de desempeño en el cual está al límite del colapso parcial o total.
- SP-6. No considerado. – Tiene una condición actual de valoración sísmica de los componentes no estructurales.

#### **2.5.1.2. Nivel de desempeño para los componentes no estructurales.**

Describen los niveles de desempeño para los mecanismos no estructurales:

- NP-A. Operacional. – Los elementos no estructurales sin daño después del sismo
- NP-B Inmediata ocupación. – Los elementos no estructurales sin daño, pero con pequeñas afectaciones sin importancia
- NP-C. Seguridad de vida. – Significativo daño en mecanismos y elemento no estructurales, pero sin sufrir colapso y peligro a los ocupantes es bajo.
- NP-D. Amenaza. – Enorme deterioro para la edificación, no presentado colapso considerable, peligro a los ocupantes por los daños en componentes no estructurales es alto.
- NP-E. No considerado. – No tiene nivel de desempeño en los componentes no estructurales, cuenta con una evaluación sísmica de los mecanismos estructurales. Considerando el desempeño en los elementos estructurales de la edificación.

#### **2.5.1.3. Niveles de desempeño de la estructura.**

Explica las posibles condiciones de daños en el edificio. Estos niveles de rendimiento son el resultado de una combinación exacta de niveles de rendimiento para componentes estructurales y no estructurales. La siguiente tabla muestra los cuatro

niveles de rendimiento del edificio de referencia más habituales. Además de los niveles mencionados anteriormente, son posibles otros niveles de rendimiento (2A, 2B, 2C, etc.). El NR corresponde al nivel de desempeño No recomendable.

	<i>SP-1 Inmediata Ocupación</i>	<i>SP-2 Daño Controlado (rango)</i>	<i>SP-3 Seguridad</i>	<i>SP-4 Seguridad limitada (rango)</i>	<i>SP-5 Estabilidad Estructural</i>	<i>SP-6 No considerado</i>
<i>NP-A Operacional</i>	<b>1-A Operacional</b>	2-A	NR	NR	NR	NR
<i>NP-B Inmediata Ocupación</i>	<b>1-B Inmediata Ocupación</b>	2-B	3-B	NR	NR	NR
<i>NP-C Seguridad</i>	1-C	2-C	<b>3-C Seguridad</b>	4-C	5-C	6-C
<i>NP-D Amenaza</i>	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<i>NP-E No Considerado</i>	NR	NR	3-E	4-E	<b>5-E Estabilidad Estructural</b>	No Aplicable

*Ilustración 29: Niveles de desempeño de la edificación.*

*Autor: ATC-40, 1996.*

Descripción de niveles de desempeño:

- 1-A. Operacional. – Es una función de la estructura, el daño a los componentes estructurales es limitado y los componentes no estructurales continúan funcionando, los residentes y los servicios del edificio están protegidos.
- 1-B. Inmediata ocupación. – Esta definición se utiliza para todos los edificios funcionales e importantes. Los servicios primarios y secundarios tienen cortes menores que se pueden solucionar fácil y rápidamente para garantizar la seguridad del usuario.
- 3-C. Seguridad vital. – Esto indica que la probabilidad de lesiones fatales en esta condición de falla y los estándares sísmicos aplicables aplican para efectividad con daño limitado a componentes estructurales y no estructurales. También puede resultar dañado por factores peligrosos, algunos servicios principales y factores secundarios, pero no pone en peligro la vida de los residentes.
- 5-E. Estabilidad estructural. – Cuando se alcanza este nivel de daño, la estructura es incapaz de soportar cargas laterales para poder soportar las réplicas de un terremoto, y para mantener la ligera estabilidad la estructura

pone en peligro cada vez más la vida del edificio. Solo existe cierta resistencia a las cargas verticales. Riesgo de colapso.

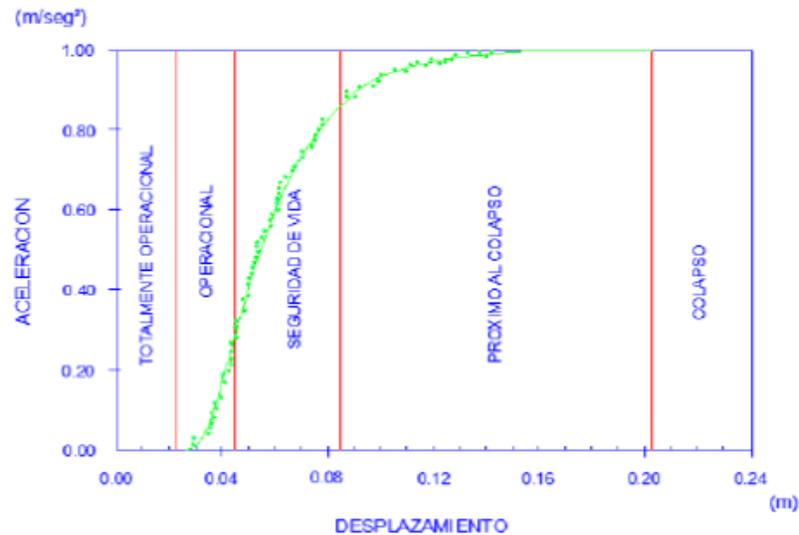
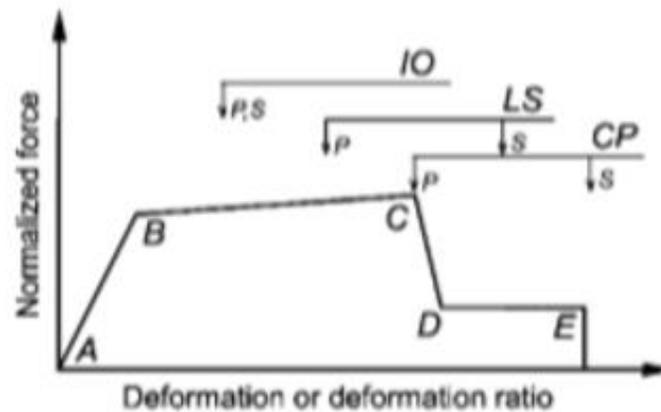


Ilustración 30: Determinación de rango de desempeño por medio de un acelograma.

Fuente: Ortiz Diego Fabian, Pintado Jorge Fernando de la Escuela Politécnica del Ejército.



(c) Component or element deformation acceptance criteria

Ilustración 31: Niveles de seguridad según las rotulas plásticas.

Fuente: ATC 40, 1996.

## 2.6. Especificaciones del bloque de Mecánica.

El edificio para analizar es de uso de la carrera de Mecánica de la Universidad Internacional Sek, está compuesta de tres pisos donde contiene aulas, en la primera planta tiene área de mecánica para automóviles.

Especificaciones del hormigón armado, resistencia del hormigón simple  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, límite de fluencia de hierro corrugado  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>, longitud mínima del traslape 40 diámetros de la varilla, recubrimientos mínimos: cimentación y muros (3-5-7) cm, columnas y vigas 3cm y cadenas 2,5cm; resistencia admisible del suelo  $Q_a= 12$  T/m<sup>2</sup> y tiene mejoramiento de suelo según recomendaciones del estudio.

Especificaciones de la estructura metálica, límite de fluencia del hierro redondo liso  $f_y=2400$  kg/cm<sup>2</sup>, perfiles tipo L e I laminado en calientes, perfiles tipo G y U laminado en frío, todos los perfiles son A36  $f_y=2530$  kg/cm<sup>2</sup>, soldaduras realizadas con recomendaciones de la norma AWS, ejes de transmisión  $f_y=6500$  kg/cm<sup>2</sup>; pernos y tuercas de acero grado 5.

## 3. CAPITULO.

### 3.1. Metodología.

El presente trabajo de titulación es una investigación del tipo cuantitativo, a razón que la investigación recaba datos del tipo numérico, de fuentes primarias recabadas para dar cumplimiento al objetivo principal.

Es por ello, se realiza el análisis estático simulando el efecto del sismo a través de una distribución triangular de las cargas laterales de la edificación, propone deformaciones en la estructura que estén en el rango elástico, lo cual se considera aceptable considerando los parámetros de la NEC-15 actualmente vigente.

La información para complementar el conocimiento del análisis estático lineal y no lineal se podrá apoyar de tesis realizadas, libros, artículos científicos y si se emplearon la normativa NEC-15 y NEC-11, capítulo de peligro sísmico, cargas no sísmicas, guía práctica para la valoración sísmica y rehabilitación de estructuras.

Realizar la investigación previa se llevará a cabo reunir toda la información necesaria para ejecutar el análisis estático lineal y no lineal para cumplir el alcance planteado del presente trabajo de titulación.

Para reunir la información de fuente primaria de esta investigación se necesita tanto teórica como en campo para complementar al momento de cálculo y modelación:

- Condiciones del suelo en sitio.
- Observación de campo del bloque en estudio para saber la configuración.
- Se tomará en cuenta las modificaciones que se han hecho comparando con los planos existentes de la edificación.
- La norma con la que fue construida la edificación.
- Revisión de planos estructurales del bloque de Mecánica que nos facilita la Universidad.
- Calcular las cargas gravitacionales, basándose a la norma NEC-11 y NEC-15 en el capítulo de carga no sísmica, tomando en cuenta todos los parámetros de la edificación.
- Según investigaciones realizadas se tomará datos referentes para el tipo de suelo y factores de sitio ( $F_a$ ,  $F_s$ ,  $F_d$ ) de acuerdo con la ubicación

geográfica, con las Normas Ecuatorianas de la Construcción se pondrá la categoría del edificio y coeficiente de importancia (I).

- Se determinada según la Norma Ecuatoriana de Construcción los factores de irregularidad en planta y elevación en el capítulo de peligro sísmico.
- Se realizará la modelación en el Software Sap 2000 recopilando todos los datos anteriormente mencionados.
- Se ejecutará el análisis estático lineal en el Software SAP 2000.
- Se ejecutará el análisis estático no lineal (Pushover) en el Software SAP 2000.
- Resultado de desempeño mediante el espectro de respuesta en el Software SAP 2000.

## 4. CAPITULO.

### 4.1. Análisis de resultados.

Para el análisis de desempeño del edificio de Mecánica del Campus Miguels de Cervantes de la Universidad Internacional Sek, se tendrá el cálculo adecuado con la información recaudada apropiadamente.

### 4.2. Materiales Utilizados.

Especificaciones del hormigón armado, resistencia del hormigón simple  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, límite de fluencia de hierro redondo corrugado  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>, porcentaje de desperdicios aplicable a hierro corrugado 7.5%, longitud mínima del traslape 40 diámetros de la varilla, recubrimientos mínimos: cimentación y muros (3-5-7) cm, columnas y vigas 3cm y cadenas 2,5cm; tamaño máximo del agregado grueso  $\frac{3}{4}$ ", resistencia admisible del suelo  $Q_a= 12$  T/m<sup>2</sup>, replantillo  $f'c=140$  kg/cm<sup>2</sup> y tiene mejoramiento de suelo según recomendaciones del estudio.

Especificaciones de la estructura metálica, límite de fluencia del hierro redondo liso  $f_y=2400$  kg/cm<sup>2</sup>, perfiles tipo L laminado en caliente, perfiles tipo I conformados en base a plancha laminada en caliente, perfiles tipo G y U laminado en frío, todos los perfiles metálicos son A36  $f_y=2530$  kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.3. Módulo de elasticidad.

$$E = 12400\sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

*Ec. 12: Módulo de Elasticidad de hormigones empleados en el Ecuador.*

*Fuente: Henry Xavier Alejandro Cabrera, 2014.*

Sección	Resistencia del hormigón $F'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Loseta	210	179693,0716
Replantillo	140	146718,7786

*Tabla 4: Módulo de Elasticidad-*

*Fuente: Autor*

### 4.4. Cálculo de Carga Muerta.

Datos de la estructura:

Altura de entre piso 0 a 1 es 3,50m.

Altura de entre piso 1 al 2 es 3,45m.

Espesor de la losa 13cm.

#### 4.4.1. Losa.

La Novalosa es una tendencia que se implementa en la actualidad como nuevas técnicas de construcciones, es una lámina de acero galvanizado de forma geométrica trapezoidal, fabricado por Novacero, que se utiliza para la construcción de losas compuestas como un refuerzo y así dejar a un lado la necesidad de varilla, alivianamiento y encofrados. (NOVACERO, 2021)

La Novalosa es un sistema de losa alivianada para entrepisos de estructuras metálicas, sistemas mixtos con una estructura de hormigón y vigas secundarias de acero.

### Novalosa 55

#### NORMAS TÉCNICAS:

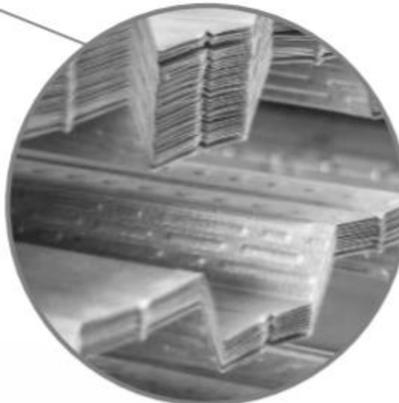
NTE INEN 2397  
ASTM A653  
ANSI/ ASCE 3-91

#### LONGITUDES:

4, 5 y 6 metros en stock  
Otras longitudes bajo pedido

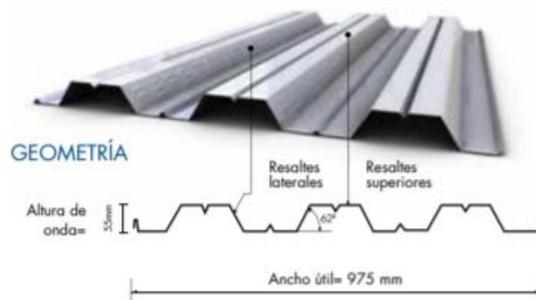
#### RECUBRIMIENTO:

Galvanizado G90



#### USO DEL PRODUCTO

Sistema de losas alivianadas en: entrepisos de estructuras metálicas, entrepisos de sistemas mixtos con una estructura principal de hormigón y vigas secundarias metálicas.



#### PROPIEDADES DE LA SECCIÓN SIMPLE

Espesor (mm)	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	I+ (cm <sup>4</sup> /m)	S+ (cm <sup>3</sup> /m)	S- (cm <sup>3</sup> /m)	As (cm <sup>2</sup> /m)
0.65	6.38	31.56	9.66	10.41	8.13
0.76	7.47	39.37	12.43	13.29	9.51
1.00	9.82	55.99	18.43	19.34	12.51

Ilustración 32: Catálogo de Secciones de Novalosa.

Fuente: NOVACERO.

CUADRO DE CAPACIDADES DE CARGA NOVALOSA 55												
Espesor de losa (cm)	Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Espesor Novalosa (mm)	Máxima luz sin apuntalar (m)		Carga total sobrepuesta (kg/m <sup>2</sup> )							
			Condición de apoyo		Separación entre apoyos (m)							
			1 vano	2 o más vanos	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
5	0.075	0.65	1.46	1.94	1418	1030	861	656	500	378	282	204
		0.76	1.73	2.31	1531	1301	980	742	638	498	486	296
		1.00	2.23	2.96	2000	1638	1225	920	880	699	556	440
6	0.085	0.65	1.41	1.87	1595	1141	1001	761	578	436	323	232
		0.76	1.66	2.22	1699	1463	1088	810	741	577	446	341
		1.00	2.13	2.85	2000	1837	1354	1250	978	767	599	556
10	0.125	0.65	1.24	1.66	2000	2000	1562	1171	875	644	460	312
		0.76	1.45	1.96	2000	1999	1946	1494	1151	884	672	501
		1.00	1.85	2.50	2000	2000	2000	1706	1264	1361	1088	868

Ilustración 33: Catálogo de capacidad de Cargas Novalosa.

Fuente: NOVACERO.

LOSA DECK			# PISO	LOSAS (Tn/m <sup>2</sup> )
Espesor de losa	70,00	mm		
	80,00	mm		
	150,00	mm		
Norma colombiana	15,00	cm		
Peso específico de hormigón	2400,00	kg/m <sup>3</sup>		
	7,00	0,09		
Volumen	8,00	x		
	0,10	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		
Peso de la losa	204,00	kg/m <sup>2</sup>	1	33,864
	<b>0,2040</b>	T.m	2	29,172

Tabla 5: Especificaciones de losa Deck.

Fuente: Autor.

#### 4.4.2. Columnas.

PISO	Altura entrepiso	BASE	ALTURA	AREA	Nº Col (u)	Peso/m <sup>2</sup> (ton.m)
1	3,45	0,3	0,3	0,09	39,00	29,0628
2	3,50	0,3	0,3	0,09	33,00	24,948
<b>TOTAL</b>						<b>54,0108</b>

Tabla 6: Cálculo de columnas.

Fuente: Autor.

### 4.4.3. Vigas.

#### 4.4.3.1. Piso 1.

VIGAS y VIGUETAS PISO 1								
VIGA	MARCA	NOMENCLATURA Dw.tw + Bf.tf	BASE (m)	ALTURA (m)	AREA	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg)	PESO TN
V01	200	200X4 + 100X6	0,20	0,10	0,020	102,10	1602,97	1,60297
V02	201	250x4 + 100x6	0,25	0,10	0,025	17,30	298,77	0,29877
V03	202	250x4 + 120x6	0,25	0,12	0,030	56,20	1076,45	1,07645
V04	203	300x4 + 120x6	0,30	0,12	0,036	158,90	3293,04	3,29304
V05	204	300x4 + 120x8	0,30	0,12	0,036	165,60	4055,88	4,05588
V06	205	300x4 + 150x8	0,30	0,15	0,045	28,10	794,11	0,79411
V07	206	400x4 + 120x6	0,40	0,12	0,048	110,20	2629,81	2,62981
V08	207	400x4 + 120x8	0,40	0,12	0,048	168,70	4661,52	4,66152
V09	208	400x4 + 120x10	0,40	0,12	0,048	87,50	2747,50	2,7475
V10	209	400x4 + 150x8	0,40	0,15	0,060	130,50	4097,70	4,0977
V11	210	400x4 + 150x10	0,40	0,15	0,060	235,60	5307,52	5,30752
V12	211	400x6 + 150x12	0,40	0,15	0,060	34,10	1606,11	1,60611
V13	212	500x6 + 150x12	0,50	0,15	0,075	25,10	1300,43	1,30043
V14	213	500x6 + 150x15	0,50	0,15	0,075	56,20	3308,78	3,30878
<b>TOTAL</b>							<b>36780,59</b>	<b>36,78059</b>

Tabla 7: Cálculo de peso de vigas y viguetas de piso 1.

Fuente: Autor.

#### 4.4.3.2. Piso 2.

VIGAS y VIGUETAS PISO 1								
VIGA	MARCA	NOMENCLATURA Dw.tw + Bf.tf	BASE (m)	ALTURA (m)	AREA	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg)	PESO TN
V01	200	200X4 + 100X6	0,20	0,10	0,020	102,10	1602,97	1,60297
V02	201	250x4 + 100x6	0,25	0,10	0,025	17,30	298,77	0,29877
V03	202	250x4 + 120x6	0,25	0,12	0,030	56,20	1076,45	1,07645
V04	203	300x4 + 120x6	0,30	0,12	0,036	158,90	3293,04	3,29304
V05	204	300x4 + 120x8	0,30	0,12	0,036	165,60	55,88	0,05588
V06	205	300x4 + 150x8	0,30	0,15	0,045	28,10	794,11	0,79411
V07	206	400x4 + 120x6	0,40	0,12	0,048	110,20	1129,81	1,12981
V08	207	400x4 + 120x8	0,40	0,12	0,048	168,70	4661,52	4,66152
V09	208	400x4 + 120x10	0,40	0,12	0,048	87,50	2747,50	2,7475
V10	209	400x4 + 150x8	0,40	0,15	0,060	130,50	1427,70	1,4277
V11	210	400x4 + 150x10	0,40	0,15	0,060	235,60	3707,52	3,70752
V12	211	400x6 + 150x12	0,40	0,15	0,060	34,10	1606,11	1,60611
V13	212	500x6 + 150x12	0,50	0,15	0,075	25,10	1300,43	1,30043
V14	213	500x6 + 150x15	0,50	0,15	0,075	56,20	1208,78	1,20878
<b>TOTAL</b>							<b>24910,59</b>	<b>24,91059</b>

Tabla 8: Cálculo de peso de vigas y viguetas de piso 2.

Fuente: Autor.

TOTAL DE VIGAS Y VIGUETAS	
PISO 1	36,78059
PISO 2	24,91059
<b>TOTAL DE VIGAS Y VIGUETAS (Tn/m2)</b>	<b>61,69118</b>

Tabla 9: Resumen del total de peso de vigas y viguetas.

Fuente: Autor.

#### 4.4.4. Mampostería.

Para obtener el peso de Mampostería se hace referencia a los estudios que se hicieron en el Ecuador, en la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PÁEZ VARGAS, 2014), se considera una dosificación 1:3 para el mortero de unión de bloques y una dosificación 1:4 para el mortero de enlucido debido a que éstas poseen mayor densidad.

Peso por m<sup>2</sup> de paredes de mampostería

			Bloque prensado			Bloque alivianado	
Ancho de bloque (cm)			10	15	20	10	15
Número de bloques			11,2573	11,2573	11,2573	12,7885	12,7885
Peso de bloques (kg)			8,68	10,38	13,73	4,18	6,02
Mortero de unión (m <sup>3</sup> )			0,0139	0,0208	0,0281	0,0123	0,0202
Mortero de enlucido (m <sup>3</sup> )			0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
Espesor de pared (m)			0,120	0,170	0,222	0,103	0,156
Mortero	Dosificación	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Peso por m <sup>2</sup> de pared de mampostería (kg/m <sup>2</sup> )				
Arena de río	1:3	1809,85	158,37	189,94	240,96	111,17	149,03
	1:4	1774,61					
Arena fina	1:3	1743,53	155,35	186,47	237,00	108,26	145,60
	1:4	1670,06					
Polvo amarillo	1:3	1681,67	153,32	184,00	234,09	106,33	143,17
	1:4	1611,17					
<b>Valor máximo de peso por m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)</b>			158,37	189,94	240,96	111,17	149,03

Ilustración 34: Peso por m<sup>2</sup> de mampostería.

Fuente: Páez Vargas, 2014.

Tipo de bloque	Ancho (cm)	Carga por unidad de superficie (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Bloque prensado</b>	10	233,91
	15	280,54
	20	355,89
<b>Bloque alivianado</b>	10	164,20
	15	220,12

Ilustración 35: Valores de cargas por unidad de superficie obtenidos.

Fuente: Páez Vargas, 2014.

Se puede observar que los valores de cargas por unidad de superficie obtenidos son mayores al valor mínimo de 100 kg/m<sup>2</sup>, se basa al valor promedio de densidad de las paredes por m<sup>2</sup> de construcción.

Peso de la mampostería por m<sup>2</sup> = 211,18 kg/m<sup>2</sup>

Peso de la mampostería por m<sup>2</sup> = 0,21118 Tn/m<sup>2</sup>

PISO 1					
SECCIÓN	ESPELOR (m)	ALUTA DEL ENTREPISO (m <sup>2</sup> )	DITANCIA TOTAL (m <sup>2</sup> )	PESO DE MAMPOSTERIA (T/M <sup>2</sup> )	PESO (Tn/m <sup>2</sup> )
PAREDES INTERIORES	0,15	3,5	21,64	0,21	15,9054
PAREDES EXTERIORES	0,15	3,45	18,19	0,21	13,17866
<b>TOTAL MAMPOSTERIA (Tn/m<sup>2</sup>)</b>					<b>29,08406</b>

Tabla 10: Cálculo de peso de mampostería Piso 1.

Fuente: Autor.

PISO 2					
SECCIÓN	ESPELOR (m)	ALUTA DEL ENTREPISO (m <sup>2</sup> )	DITANCIA TOTAL (m <sup>2</sup> )	PESO DE MAMPOSTERIA (T/M <sup>2</sup> )	PESO (Tn/m <sup>2</sup> )
PAREDES INTERIORES	0,15	3,5	19,12	0,21	14,0532
PAREDES EXTERIORES	0,15	3,45	16,97	0,21	12,29477
<b>TOTAL MAMPOSTERIA (Tn/m<sup>2</sup>)</b>					<b>26,34797</b>

Tabla 11: Cálculo de peso de mampostería Piso 2.

Fuente: Autor.

MAMPOSTERIA (Tn/m2)	
PISO 1	29,08406
PISO 2	26,34797
<b>TOTAL DE MAMPOSTERIA (Tn/m2)</b>	<b>55,43202</b>

Tabla 12: Resumen de peso de mampostería.

Fuente: Autor.

#### 4.4.5. Cerámica.

Para el Peso de la cerámica por piso se hará referencia los valores de las tablas de Norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC-15”, el capítulo de cargas (No Sísmicas). (NEC-15, 2015)

Material	Peso Unitario kN/m <sup>3</sup>
<b>G. Contrapisos y recubrimientos</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Baldosa de mármol reconstituido, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0.22
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0.20
Contrapiso de hormigón ligero simple, por cada cm, de espesor	0.16
Contrapiso de hormigón simple, por cada cm, de espesor	0.22
<b>H. Cielorrasos y Cubiertas</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Ilustración 36: Peso de cerámica por m2.

Fuente: NEC-15 Cargas no sísmicas.

Peso de cerámica por m2 = 20,394 kg/m2

Peso de cerámica por m2 = 0,020394 Tn/m2

CERAMICA PISO 1		
ÁREA	PESO/m2 (Tn/m)	PESO TOTAL (Tn/m2)
440,193	0,020394	<b>8,977296042</b>

Tabla 13: Cálculo de peso de cerámica Piso 1.

Fuente: Autor.

CERAMICA PISO 2		
ÁREA	PESO/m2 (Tn/m)	PESO TOTAL (Tn/m2)
379,49	0,020394	<b>7,73931906</b>

Tabla 14: Cálculo de peso de cerámica Piso 2.

Fuente: Autor.

CERÁMICA (Tn/m2)	
PISO 1	8,977296042
PISO 2	7,73931906
<b>TOTAL DE CERÁMICA (Tn/m2)</b>	<b>16,7166151</b>

Tabla 15: Resumen de peso de cerámica.

Fuente: Autor.

#### 4.4.6. Cielo Raso.

Para el Peso del cielo raso por piso se hará referencia los valores de las tablas de Norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC-15”, el capítulo de cargas (No Sísmicas). (NEC-15, 2015)

Material	Peso Unitario kN/m <sup>3</sup>
<b>H. Cielorrasos y Cubiertas</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
De yeso sobre listones de madera (incluidos los listones)	0.20
De mortero de cemento compuesto de cal y arena	0.55

Ilustración 37: Carga muerta de cielo raso.

Fuente: NEC-15 Cargas no sísmicas.

Peso de cielo raso por m2 = 20,394 kg/m2

Peso de cielo raso por m2 = 0,020394 Tn/m2

CIELO RASO PISO 1		
ÁREA	PESO/m2 (Tn/m)	PESO TOTAL (Tn/m2)
440,193	0,020394	<b>8,977296</b>

Tabla 16: Cálculo de peso de cielo raso Piso 1.

Fuente: Autor.

CIELO RASO PISO 2		
ÁREA	PESO/m <sup>2</sup> (Tn/m)	PESO TOTAL (Tn/m <sup>2</sup> )
379,49	0,020394	<b>7,7393191</b>

Tabla 17: Cálculo de peso de cielo raso Piso 2.

Fuente: Autor.

CIELO RASO (Tn/m <sup>2</sup> )	
PISO 1	8,977296
PISO 2	7,7393191
<b>TOTAL DE CIELO RASO (Tn/m<sup>2</sup>)</b>	<b>16,716615</b>

Tabla 18: Resumen de peso de cielo raso.

Fuente: Autor.

#### 4.4.7. Resumen de carga muerta de toda la estructura.

RESUMEN DE CARGA MUERTA							
# PISO	COLUMNAS (Tn/m <sup>2</sup> )	VIGAS Y VIGUETAS (Tn/m <sup>2</sup> )	LOSAS (Tn/m <sup>2</sup> )	MAMPOSTERÍA (Tn/m <sup>2</sup> )	CERÁMICA (Tn/m <sup>2</sup> )	CIELO RASO (Tn/m <sup>2</sup> )	PESO POR PISO (Tn)
1	29,063	36,781	33,864	29,084	8,977	8,977	146,746
2	24,948	24,911	29,172	26,348	7,739	7,739	120,857
<b>PESO TOTAL DE LA ESTRUCTURA (Tn)</b>							<b>267,60323</b>

Tabla 19: Resumen de Carga de Muerta.

Fuente: Autor.

#### 4.5. Cálculo de Carga Viva.

La carga viva o sobrecarga de uso se utiliza para el cálculo dependiendo de la ocupación que se le da a estructura y depende a los pesos de personas, mueble equipo y accesorios entre otras.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
<b>Soportes para luces cenitales y cielos rasos accesibles</b>		0.90
<b>Unidades educativas</b>		
Aulas	2.00	4.50
Corredores segundo piso y superior	4.00	4.50
Corredores primer piso	4.80	4.50
<b>Veredas, áreas de circulación vehicular y patios que puedan estar cargados por camiones</b>	12.00	35.60 <sup>e</sup>

Ilustración 38: Carga viva de aulas y corredores.

Fuente: NEC-15 Cargas no sísmicas.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
<b>Cubiertas</b>		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		

Ilustración 39: Carga viva de cubierta

Fuente: NEC-15 Cargas no sísmicas

CARGA VIVA				
# PISOS	AULAS kn/m2	AULAS Tn/m2	CORREDORES kn/m2	CORREDORES Tn/m2
1	2,00	0,20	4,80	0,48
2	2,00	0,20	4,80	0,48
CUBIERTA	0,70	0,07		

Tabla 20: Resumen de peso de Carga Viva.

Fuente: Autor.

#### 4.6. Zona sísmica y factor Z.

El análisis sísmico se lo estudia dependiendo donde se ubica dentro de la región ecuatoriana.

El bloque de ingeniería Mecánica está configurado de aulas, oficinas y un taller mecánico; la edificación está ubicada en la parroquia Carcelén barrio La Floresta.

Para los edificios que tienen un uso normal, implementan el valor  $z$  que representa la aceleración máxima para el sismo de diseño expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, según el mapa de zonificación sísmica para un 10% de excedencia en 50 años; tenemos una zona sísmica V, un valor factor  $Z$  de 0,40 con caracterización del peligro sísmico alta.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Ilustración 40: Tipo de suelo.

Fuente: NEC-15 Peligro Sísmico.

#### 4.7. Coeficiente de perfil de suelo $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ .

Coeficientes de amplificación de suelo en la zona de periodo corto  $F_a = 0,850$  (Aguiar Falconí, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO, 2017).

Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca  $F_s = 1,10$  (Aguiar Falconí, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO, 2017).

Comportamiento no lineal de los suelos  $F_d = 0,775$  (Aguiar Falconí, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO, 2017).

Razón entre la aceleración espectral  $\eta = 2,48$ .

## 4.8. Periodo de vibración de la edificación.

Periodo de Vibración	
Tipo de Estructura	Estructura de Acero
Coefficiente Ct	0,07
Altura del edificio desde el punto o	6,95
Coefficiente $\alpha$	0,80
Periodo de vibración ta	0,34

Tabla 21: Periodo de vibración Nec-15.

Fuente: Autor.

### 4.8.1. Espectro Elástico.

$$0 < T < T_c$$

$$T_c = 0,55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Ec. 13: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Fuente NEC-15 Peligro Sísmico.

$$S_a = n. z. F_a$$

Ec. 14: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Fuente NEC-15 Peligro Sísmico.

to	
0,000	0,00
0,000	0,84
tc	
0,552	0,00
0,552	0,84
T	
0,340	0,00
0,340	0,843

Tabla 22: Puntos de inserción del espectro.

Fuente: Autor.

Peso sísmico

Utilizamos el peso muerto de la estructura.

$$W = 267,60 \text{ Tn}$$

Coefficiente estático de importancia=

Los valores del Irregularidad de la Planta  $\Phi_p = 0,9$

Los valores del Irregularidad en Elevación  $\Phi_e = 0,9$

Coefficiente de Reducción sísmica  $R = 5$

Cortante basal de diseño

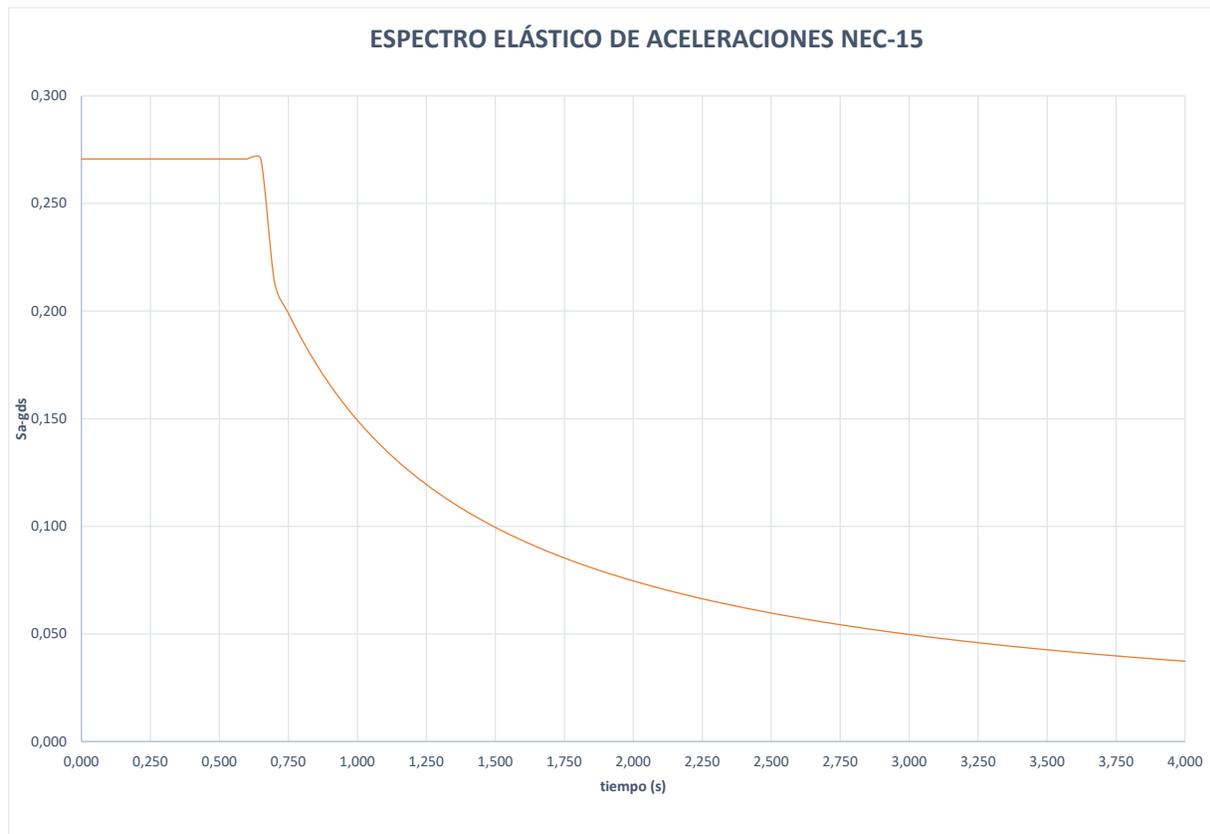
Cortante de Diseño	
Factor de Importancia I	1,30
Irregularidad de la Planta $\Phi_p$	0,90
Irregularidad en Elevación $\Phi_e$	0,90
R	5,00
coeficiente cortante basal	0,27
Cortante	72,43
vmini	12,91
W	267,60
k	1,00

Tabla 23: Cortante de Diseño.

Fuente: Autor.

Cortante basal  $V = 72,43 \text{ Tn}$

#### 4.8.1.1. Espectro elástico de aceleraciones Nec-15.



*Ilustración 41: Espectro Elástico de aceleración del bloque de Mecánica Universidad Sek.*

*Fuente: Autor.*

## 4.9. Modelamiento del bloque de Mecánica mediante el software SAP 2000.

### 4.9.1. Creación de ejes.

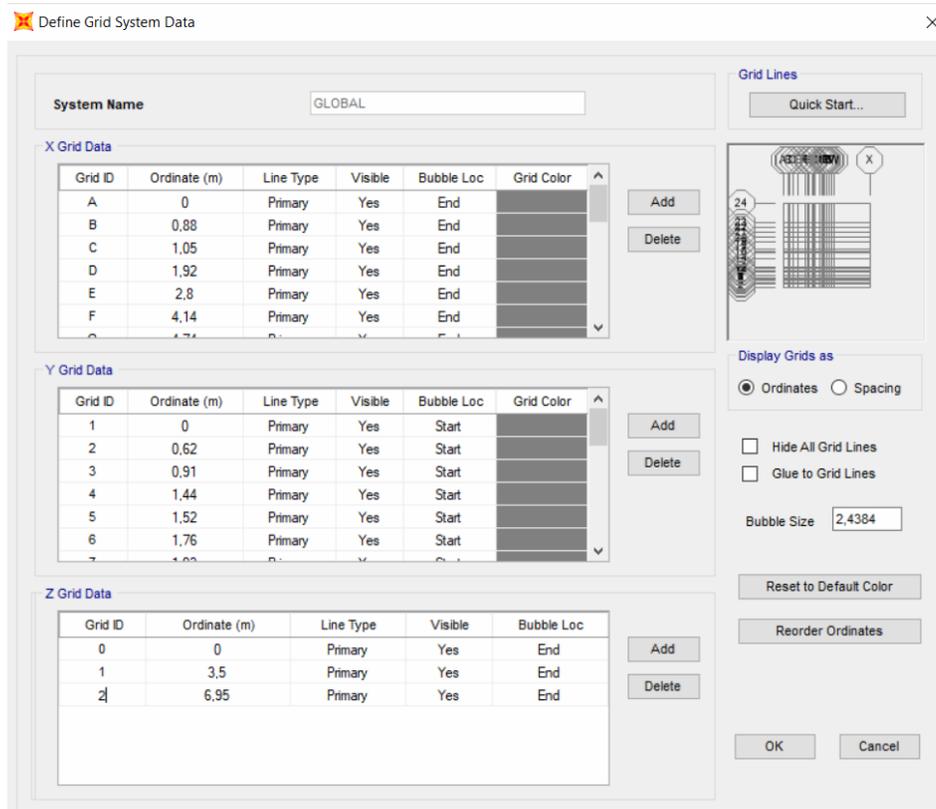


Ilustración 42: Definición de ejes en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.2. Ejes vista en planta.

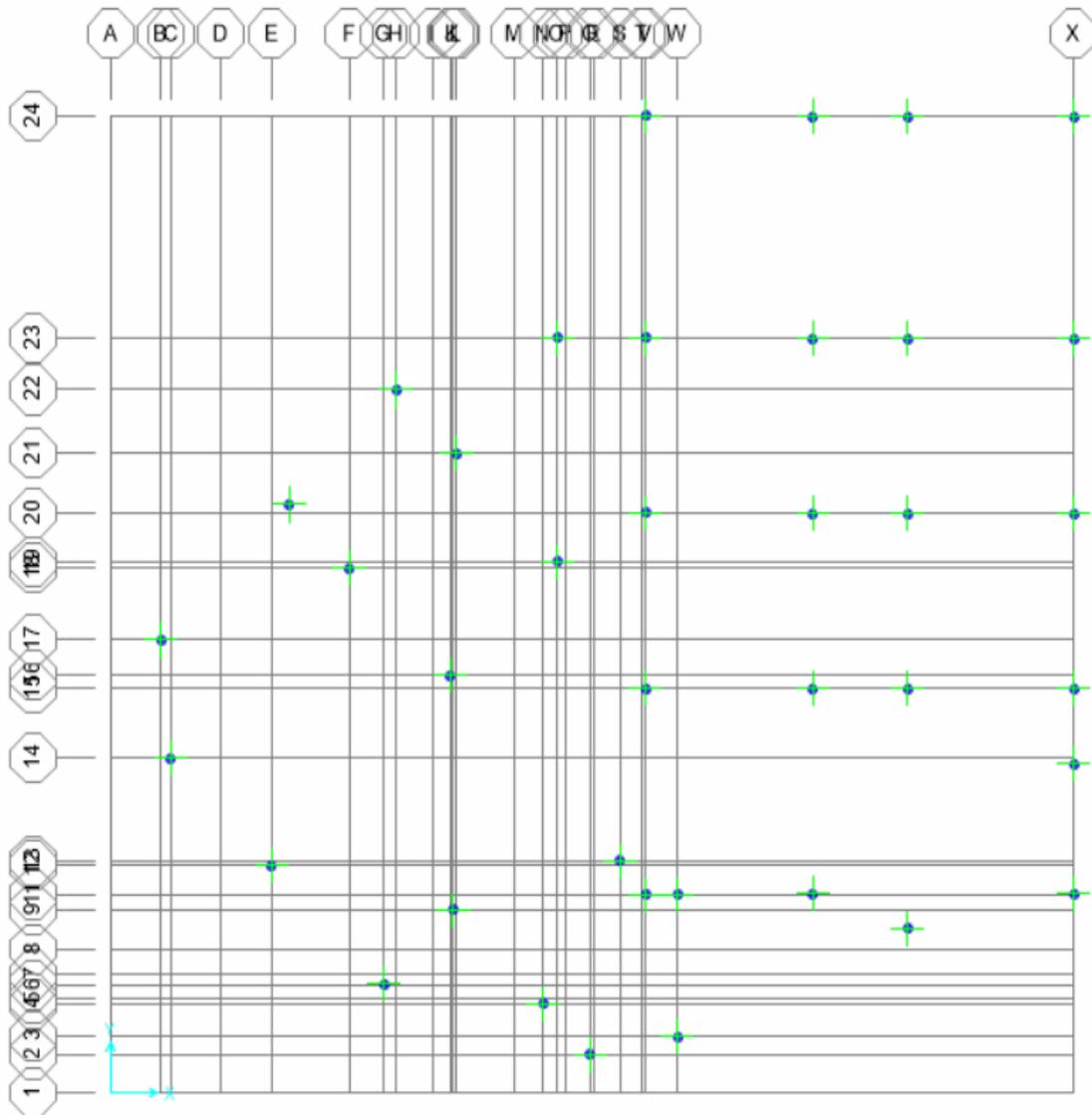


Ilustración 43: Vista planta de ejes en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

### 4.9.3. Definir el material.

#### 4.9.3.1. Acero.

Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: A36

Material Type: Steel

Material Grade: Grade 50

Material Notes:

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 7,849

Mass per Unit Volume: 0,8004

Units: Tonf, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 210000,

Poisson, U: 0,28

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 80769,23

**Other Properties For Steel Materials**

Minimum Yield Stress, Fy: 25300,

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699,53

Expected Yield Stress, Fye: 38668,83

Expected Tensile Stress, Fue: 50269,48

Switch To Advanced Property Display

Ilustración 44: Definición de acero en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

### 4.9.3.2. Hormigón.

Material Property Data ×

**General Data**

Material Name and Display Color:

Material Type:

Material Grade:

Material Notes:

---

**Weight and Mass** **Units**

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

---

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E:

Poisson, U:

Coefficient Of Thermal Expansion, A:

Shear Modulus, G:

---

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, fc:

Expected Concrete Compressive Strength:

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

---

Switch To Advanced Property Display

*Ilustración 45: Definición de hormigón en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*

## 4.9.4. Creación de las propiedades.

### 4.9.4.1. Columna.

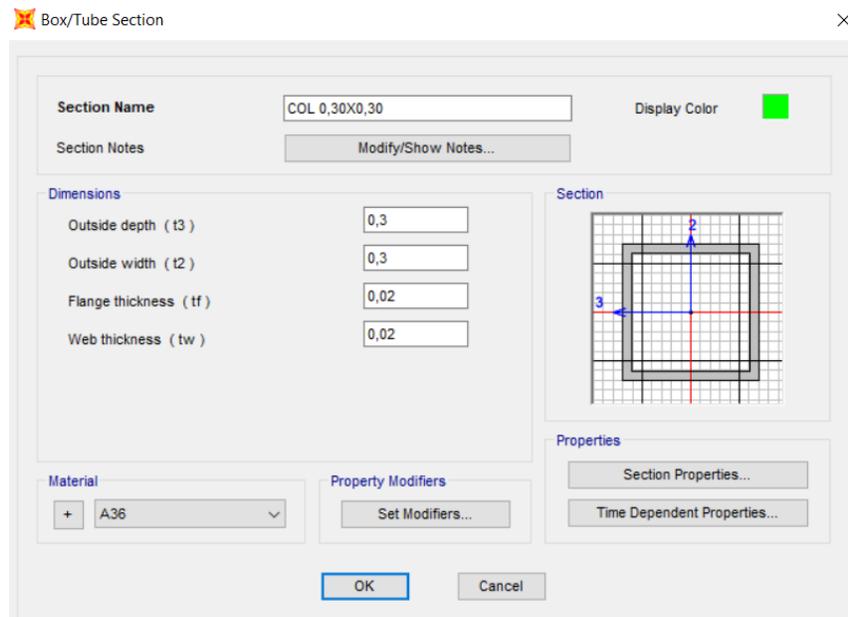


Ilustración 46: Creación de Columnas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

### 4.9.4.2. Viga.

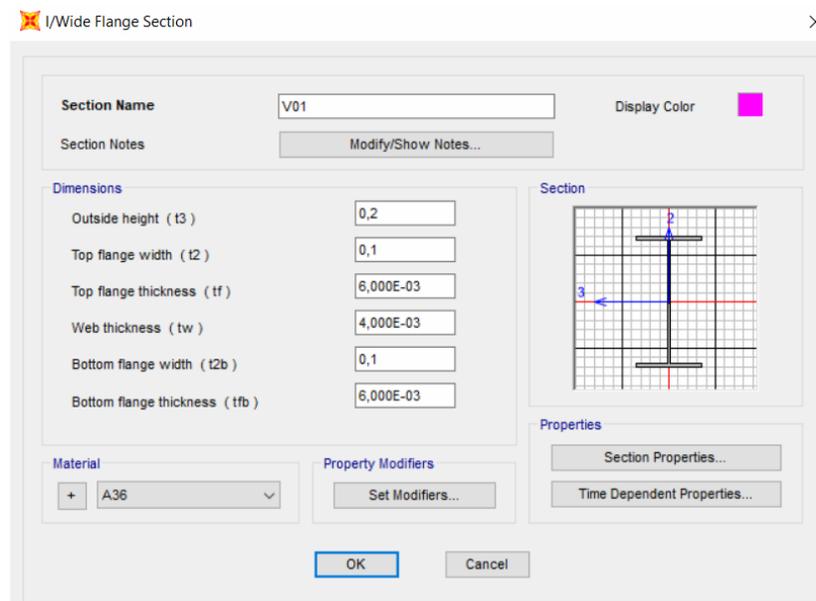


Ilustración 47: Creación de Vigas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

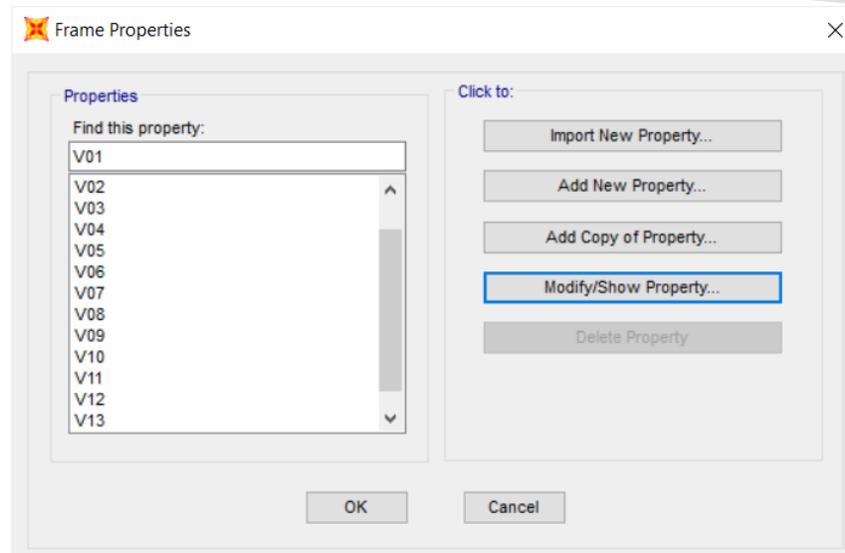


Ilustración 48: Todas las vigas y viguetas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.4.3. Losa.

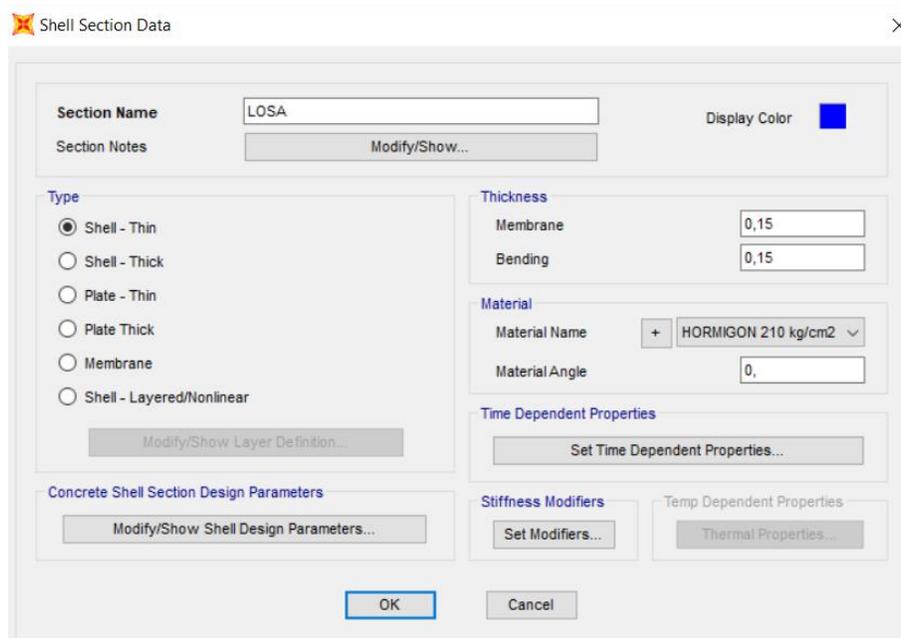


Ilustración 49: Creación de Losa en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.4.4. Muro.

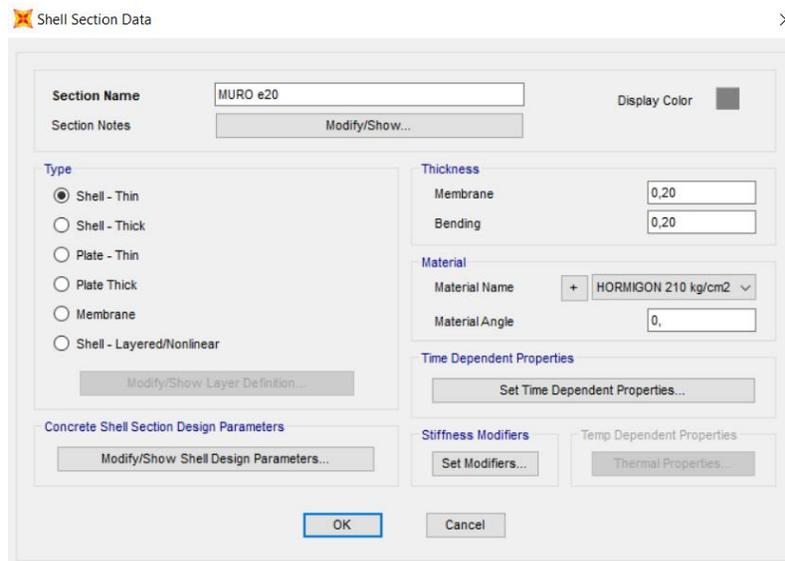


Ilustración 50: Creación de Muro en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.5. Modelamiento de columnas, vigas y viguetas.

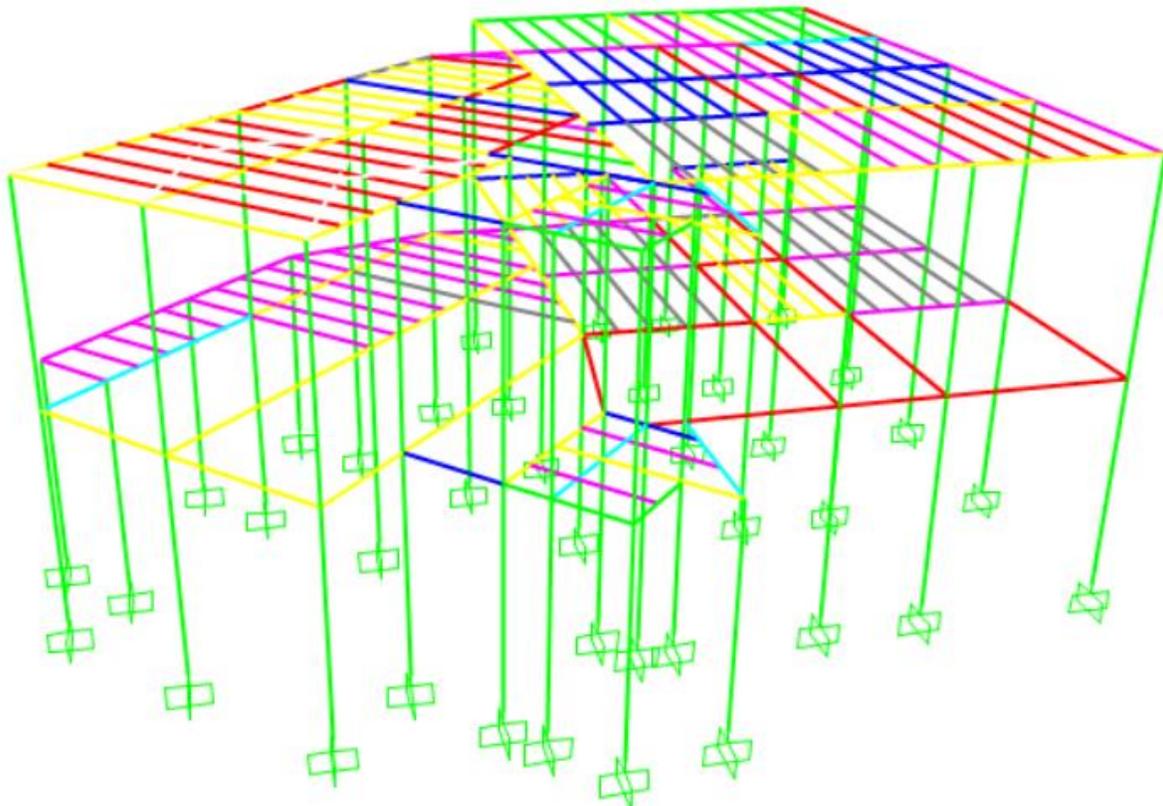


Ilustración 51: Modelamiento de columnas, vigas y viguetas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.6. Modelación de la losa.

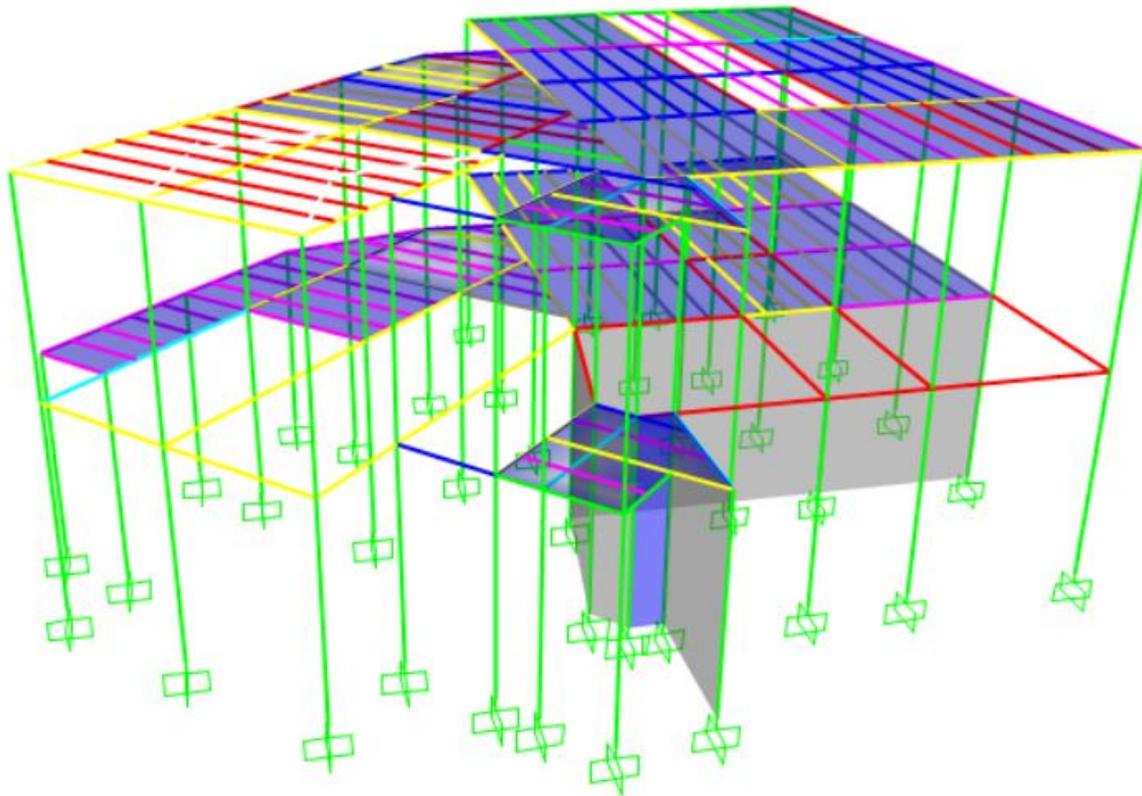


Ilustración 52: Modelamiento de Losa en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.7. Definición de cargas.

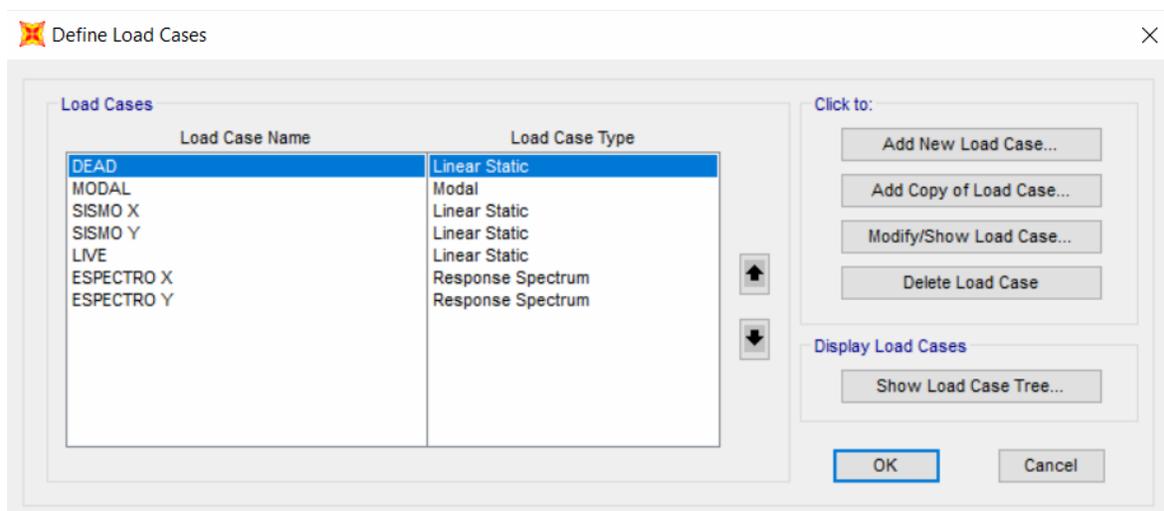


Ilustración 53: Definición de cargas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.8. Peso sísmico.

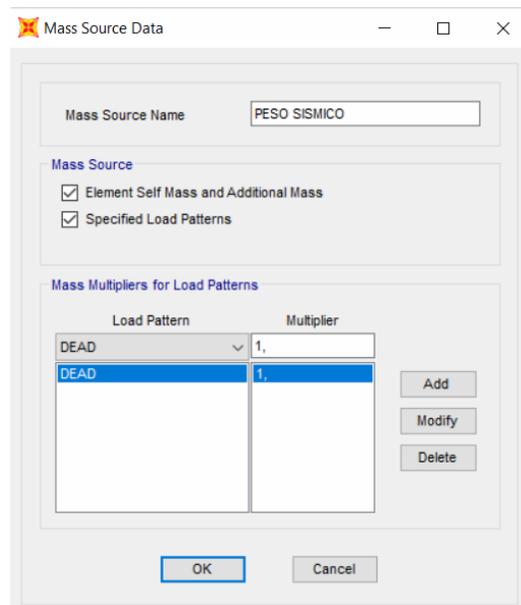


Ilustración 54: Definición de peso sísmico.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.9. Aplicación de cargas.

##### 4.9.9.1. Carga viva aulas 0,20 (NEC-15, 2015).

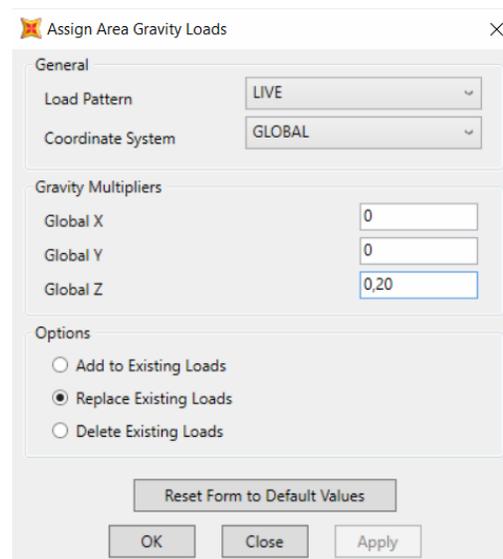
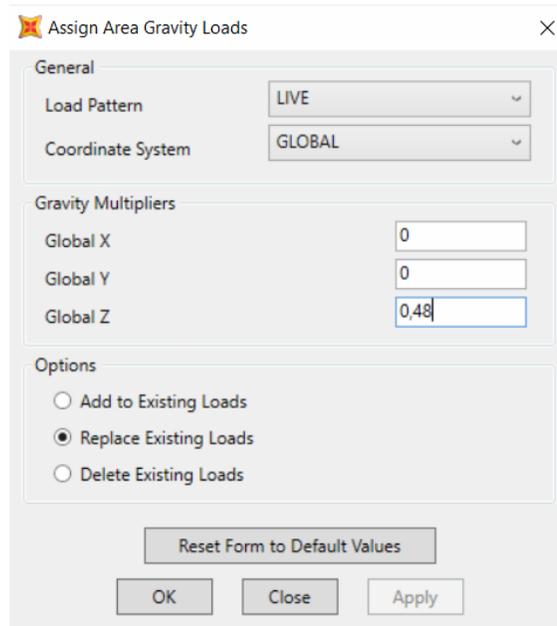


Ilustración 55: Aplicación de carga viva de aulas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.9.2. Carga viva corredores 0,48 (NEC-15, 2015).



**Assign Area Gravity Loads** [X]

**General**

Load Pattern: LIVE

Coordinate System: GLOBAL

**Gravity Multipliers**

Global X: 0

Global Y: 0

Global Z: 0,48

**Options**

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

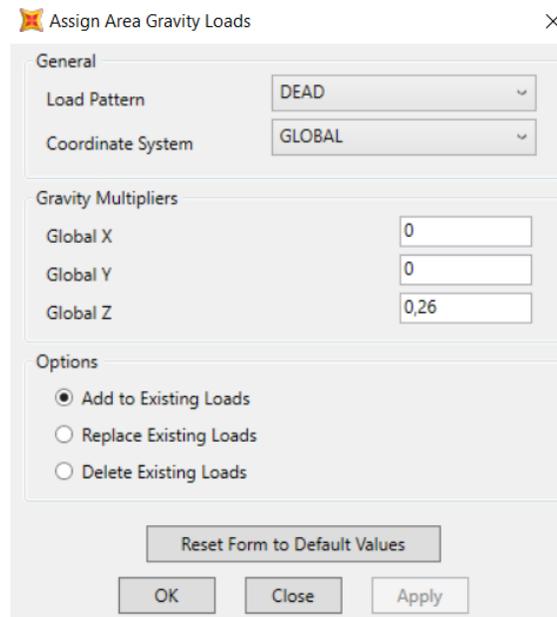
Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Ilustración 56: Aplicación de carga viva de corredores en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.9.3. Carga muerta.



**Assign Area Gravity Loads** [X]

**General**

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

**Gravity Multipliers**

Global X: 0

Global Y: 0

Global Z: 0,26

**Options**

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Ilustración 57: Aplicación de carga muerta en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.10. Creación de diafragmas por piso.

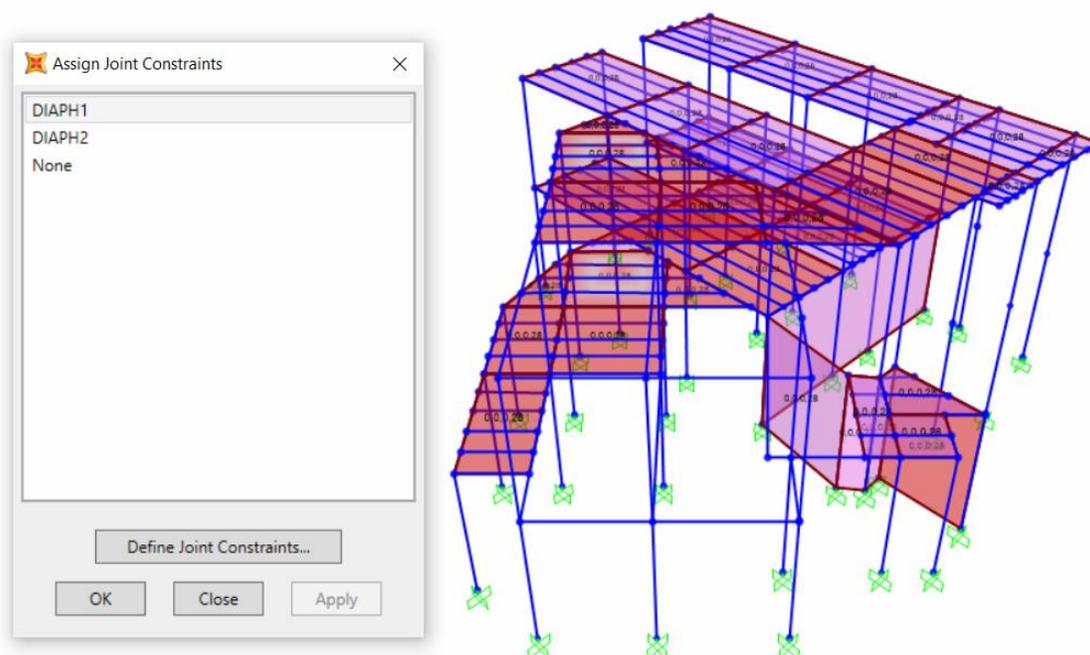


Ilustración 58: Creación de Diafragmas por piso en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.11. Carga y cortante basal del programa.

Auto Seismic - User Coefficient

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Auto Seismic - User Coefficient

Filter:

	LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	Base Shear Tonf
▶	SISMO X	X	0,05	No	No	0,271	1	260,0412	70,4712
	SISMO Y	Y	0,05	No	No	0,271	1	260,0412	70,4712

Ilustración 59: Cargas y cortante basal en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.12. Espectro NEC-15.

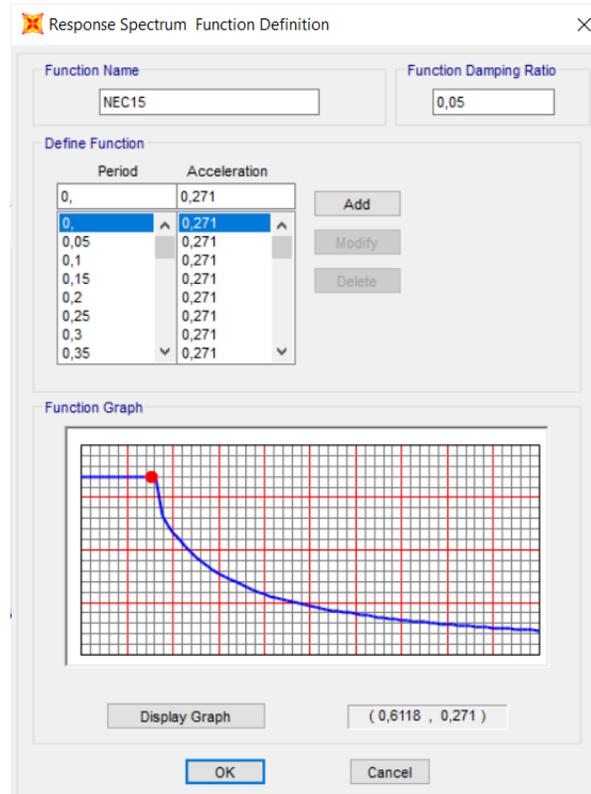


Ilustración 60: Espectro Nec-15 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.13. Espectro NEC-11.

##### 4.9.13.1. Coeficiente de perfil de suelo $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ .

Coeficientes de amplificación de suelo en la zona de periodo corto  $F_a = 1,2$

Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca  $F_s = 1,5$

Comportamiento no lineal de los suelos  $F_d = 1,4$

Razón entre la aceleración espectral  $\eta = 2,48$

Zona Sísmica	V	Periodo de Vibración		Cortante de Diseño	
Valor del Factor Z	0,40	Tipo de Estructura	Estructura de Acero	Factor de Importancia I	1,30
Característica de la Zona Sísmica	Alta	Coefficiente Ct	0,07	Irregularidad de la Planta $\Phi_p$	0,90
Tipo de perfil del suelo	D	Altura del edificio desde el punto o	6,95	Irregularidad en Elevación $\Phi_e$	0,90
Factor de sitio Fa	1,20	Coefficiente $\alpha$	0,80	R	5,00
Factor de Comportamiento Fs.	1,50	Periodo de vibración ta	0,34	coeficiente cortante basal	0,382
Factor de Sitio Fd	1,400	Tc=	0,96	Cortante	102,25
Región	Sierra	T=	0,34	vmini	81,80
N	2,48	sa	1,19	W	267,60
r	5,00			k	1,00
Gravedad	9,81				

Ilustración 61: Coeficiente del suelo, periodo de vibración y cortante de diseño.

Fuente: Autor.

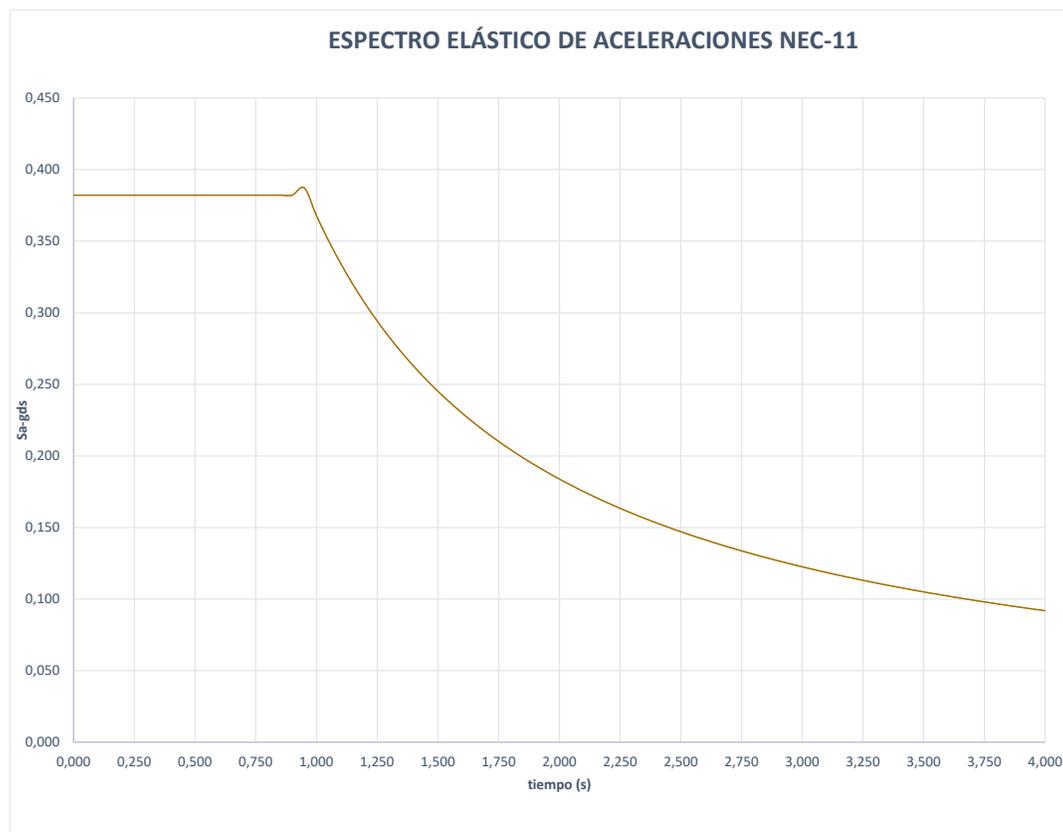


Ilustración 62: Espectro elástico de aceleración Nec-11 del bloque de Mecánica de la Universidad Sek.

Fuente: Autor.

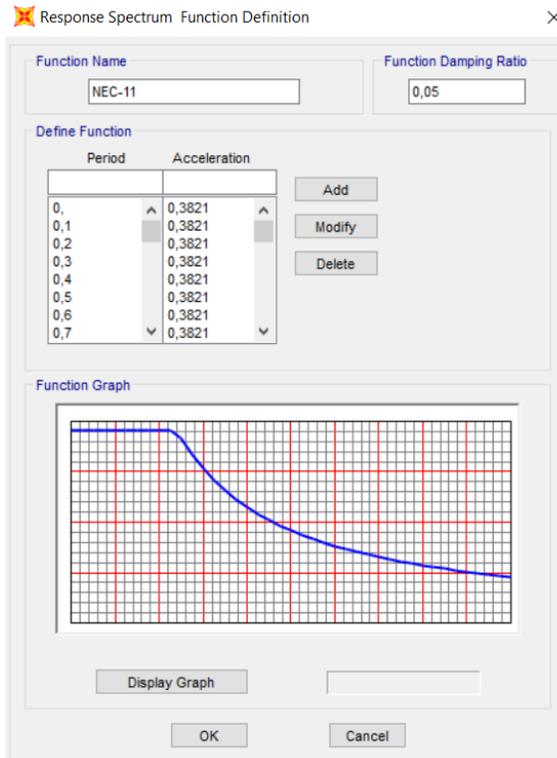
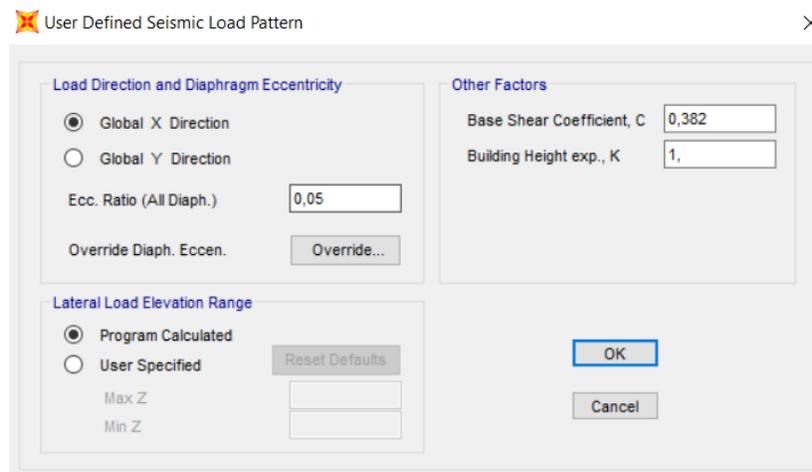


Ilustración 63: Espectro elástico de aceleración Nec-11 en el Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.14. Coeficiente estático.



User Defined Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction  
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.): 0,05  
 Override Diaph. Eccen.: Override...

Other Factors

Base Shear Coefficient, C: 0,382  
 Building Height exp., K: 1

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated  
 User Specified (Reset Defaults)

Max Z:   
 Min Z:

Buttons: OK, Cancel

Ilustración 64: Coeficiente elástico en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.15. Combinaciones de carga NEC-15.

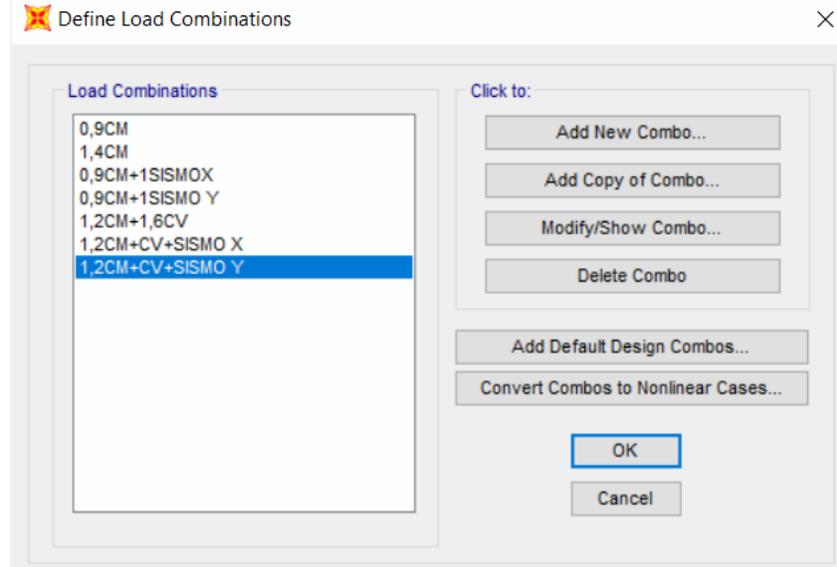


Ilustración 65: Combinaciones de carga Nec-15 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.9.16. Combinaciones de carga NEC-11.

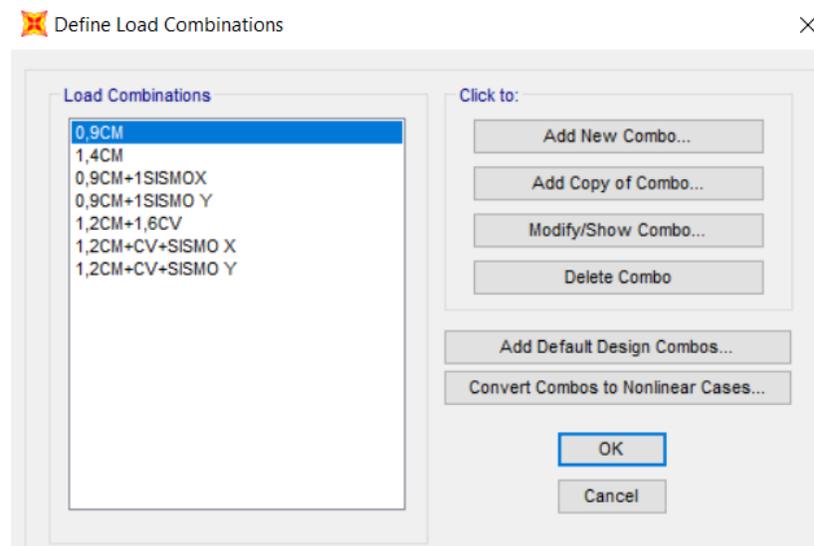
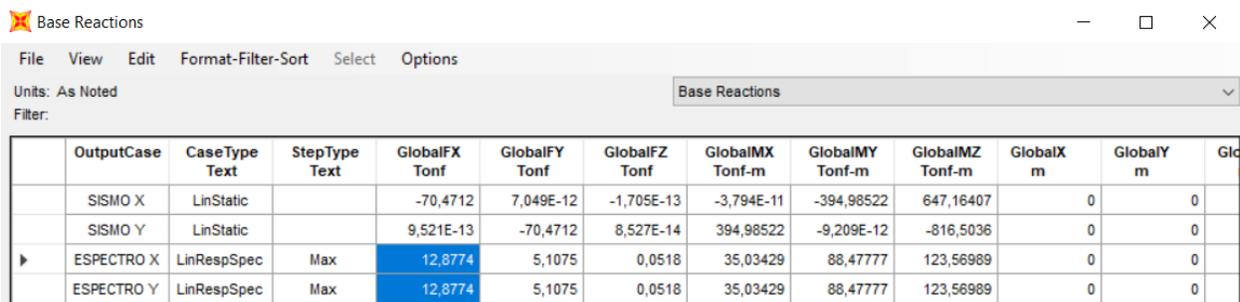


Ilustración 66: Combinaciones de carga Nec-11 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

## 4.10. Análisis estático lineal.

### 4.10.1.1. Igualar los cortantes basales NEC-15.



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
	SISMO X	LinStatic		-70,4712	7,049E-12	-1,705E-13	-3,794E-11	-394,98522	647,16407	0	0	0
	SISMO Y	LinStatic		9,521E-13	-70,4712	8,527E-14	394,98522	-9,209E-12	-816,5036	0	0	0
▶	ESPECTRO X	LinRespSpec	Max	12,8774	5,1075	0,0518	35,03429	88,47777	123,56989	0	0	0
▶	ESPECTRO Y	LinRespSpec	Max	12,8774	5,1075	0,0518	35,03429	88,47777	123,56989	0	0	0

Ilustración 67: Igualar los cortantes basales Nec-15 en Sap 2000.

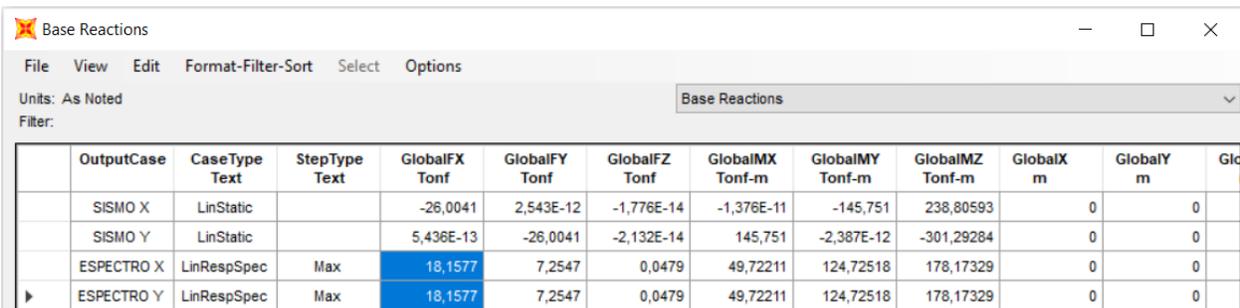
Fuente: Sap 2000.

CORTANTE		
CÁLCULO	12,91	Tn
SAP	16,71	Tn
COEF.	0,773	

Tabla 24: Igualar cortantes Basales Nec-15.

Fuente: Autor.

### 4.10.1.2. Igualar de los cortantes basales NEC-11.



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
	SISMO X	LinStatic		-26,0041	2,543E-12	-1,776E-14	-1,376E-11	-145,751	238,80593	0	0	0
	SISMO Y	LinStatic		5,436E-13	-26,0041	-2,132E-14	145,751	-2,387E-12	-301,29284	0	0	0
	ESPECTRO X	LinRespSpec	Max	18,1577	7,2547	0,0479	49,72211	124,72518	178,17329	0	0	0
▶	ESPECTRO Y	LinRespSpec	Max	18,1577	7,2547	0,0479	49,72211	124,72518	178,17329	0	0	0

Ilustración 68: Igualar los cortantes basales Nec-11 en Sap 2000.

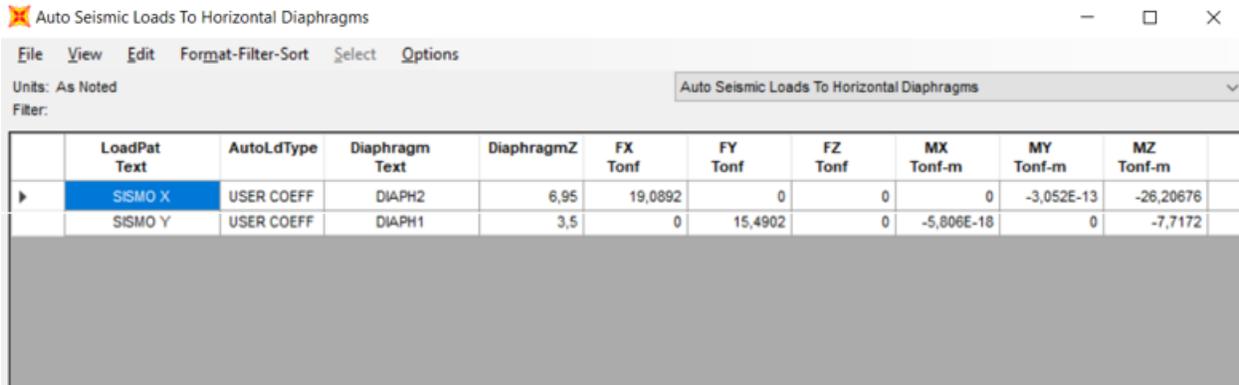
Fuente: Sap 2000.

CORTANTE		
CÁLCULO	18,22	Tn
SAP	40,35	Tn
COEF.	0,452	

Tabla 25: Igualar los cortantes Basales Nec-11.

Fuente: Autor.

#### 4.10.2. Chequeo de las fuerzas laterales con Sap 2000 y cálculo manual NEC-15.

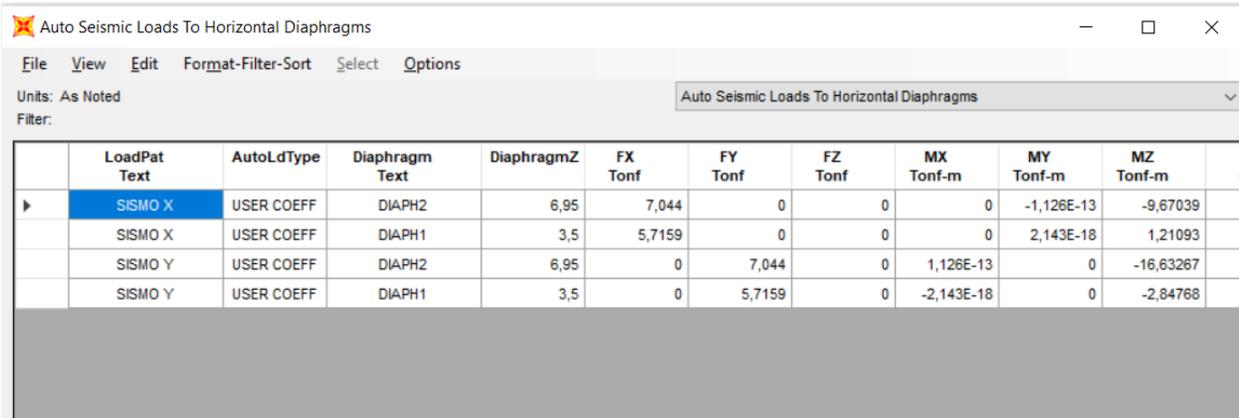


	LoadPat Text	AutoLdType	Diaphragm Text	DiaphragmZ	FX Tonf	FY Tonf	FZ Tonf	MX Tonf-m	MY Tonf-m	MZ Tonf-m
▶	SISMO X	USER COEFF	DIAPH2	6,95	19,0892	0	0	0	-3,052E-13	-26,20676
	SISMO Y	USER COEFF	DIAPH1	3,5	0	15,4902	0	-5,806E-18	0	-7,7172

Ilustración 69: Fuerzas laterales Nec-15 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.10.3. Chequeo de las fuerzas laterales con SAP 2000 y cálculo manual NEC-11.



	LoadPat Text	AutoLdType	Diaphragm Text	DiaphragmZ	FX Tonf	FY Tonf	FZ Tonf	MX Tonf-m	MY Tonf-m	MZ Tonf-m
▶	SISMO X	USER COEFF	DIAPH2	6,95	7,044	0	0	0	-1,126E-13	-9,67039
	SISMO X	USER COEFF	DIAPH1	3,5	5,7159	0	0	0	2,143E-18	1,21093
	SISMO Y	USER COEFF	DIAPH2	6,95	0	7,044	0	1,126E-13	0	-16,63267
	SISMO Y	USER COEFF	DIAPH1	3,5	0	5,7159	0	-2,143E-18	0	-2,84768

Ilustración 70: Fuerzas laterales Nec-11 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.10.4. Comparación de la carga y cortante basal NEC-15.

	LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	Base Shear Tonf
▶	SISMO X	X	0,05	No	No	0,271	1	260,0412	70,4712
	SISMO Y	Y	0,05	No	No	0,271	1	260,0412	70,4712

Ilustración 71: Comparación de la carga y cortante basal Nec-15 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

NEC-15			
CARGA		CORTANTE BASAL	
SAP 2000 (Tn)	CÁLCULO MANUAL (Tn)	SAP 2000 (Tn)	CÁLCULO MANUAL (Tn)
260,04	267,60	70,47	72,42

Tabla 26: Comparación de la carga y cortante basal Nec-15.

Fuente: Autor.

#### 4.10.5. Comparación de la carga y cortante basal NEC-11.

	LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	Base Shear Tonf
▶	SISMO X	X	0,05	No	No	0,382	1	260,0412	99,3358
	SISMO Y	Y	0,05	No	No	0,382	1	260,0412	99,3358

Ilustración 72: Comparación de la carga y cortante basal Nec-11 en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

NEC-11			
CARGA		CORTANTE BASAL	
SAP 2000 (Tn)	CÁLCULO MANUAL (Tn)	SAP 2000 (Tn)	CÁLCULO MANUAL (Tn)
260,04	267,60	99,33	102,25

Tabla 27: Comparación de la carga y cortante basal Nec-11.

Fuente: Autor.

#### 4.10.6. Modales NEC-15.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless											
MODAL	Mode	1	0,51966	0,12457	0,17448	0,00000	0,12457	0,17448	0,00000	0,03868	0,02016	0,49070	0,03868	0,02016	0,49070
MODAL	Mode	2	0,40898	0,35854	0,10404	0,00001	0,48311	0,27852	0,00001	0,03414	0,11941	0,01006	0,07282	0,13957	0,50076
MODAL	Mode	3	0,38148	0,02326	0,21710	0,00001	0,50637	0,49562	0,00002	0,08619	0,01310	0,19132	0,15901	0,15267	0,69208
MODAL	Mode	4	0,25292	0,00050	0,00007	0,00939	0,50686	0,49569	0,00941	0,00490	0,00873	0,00030	0,16391	0,16140	0,69238
MODAL	Mode	5	0,14709	0,00001	0,00001	0,00130	0,88236	0,88236	0,01071	0,00379	0,00015	0,00003	0,16770	0,16156	0,78625
MODAL	Mode	6	0,11859	0,04954	0,02260	0,00007	0,92023	0,92023	0,01077	0,00647	0,01029	0,17444	0,17417	0,17184	0,96685

Tabla 28: Modal participación de masa Nec-15.

Fuente: Autor.

#### 4.10.7. Modales NEC-11.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless											
MODAL	Mode	1	0,51966	0,14161	0,23231	0,00022	0,14161	0,23231	0,00000	0,07456	0,04169	0,21530	0,07456	0,04169	0,21530
MODAL	Mode	2	0,40898	0,32292	0,11211	0,00061	0,46453	0,34442	0,00000	0,04047	0,11534	0,01938	0,11503	0,15703	0,23468
MODAL	Mode	3	0,38148	0,00418	0,11553	0,00013	0,46871	0,45994	0,00000	0,04828	0,00291	0,30271	0,16331	0,15994	0,53739
MODAL	Mode	4	0,25292	0,00102	0,00000	0,00128	0,53929	0,51226	0,00128	0,00350	0,00020	0,00000	0,16681	0,16013	0,74382
MODAL	Mode	5	0,14709	0,00002	0,00019	0,02948	0,88033	0,88234	0,31077	0,02632	0,01330	0,00029	0,19312	0,17343	0,86239
MODAL	Mode	6	0,11859	0,00914	0,00001	0,01684	0,98935	0,98936	0,84760	0,00423	0,00263	0,00003	0,19735	0,17606	0,97392

Tabla 29: Modal participación de masa Nec-11.

Fuente: Autor.

#### 4.10.8. Deriva NEC-15.

# PISO	SOLICITACIÓN	U <sub>x</sub> (m)	DERIVA ELASTICA	H (m)	DERIVA	R	DERIVA POR PISO	D limite	CUMPLE
2	ESTATICO X	0,350	0,087	3,500	0,025	5,000	0,094	0,02	NO
1	ESTATICO X	0,044	0,013	3,450	0,004	5,000	0,014	0,02	OK

Tabla 30: Deriva en X Nec-15.

Fuente: Autor.

# PISO	SOLICITACIÓN	U <sub>y</sub> (m)	DERIVA ELASTICA	H (m)	DERIVA	R	DERIVA POR PISO	D limite	CUMPLE
2	ESTATICO Y	0,320	0,082	3,500	0,023	5,000	0,088	0,02	NO
1	ESTATICO Y	0,033	0,033	3,500	0,009	5,000	0,035	0,02	NO

Tabla 31: Deriva en Y Nec-15.

Fuente: Autor.

#### 4.10.9. Deriva NEC-11.

# PISO	SOLICITACIÓN	U <sub>x</sub> (m)	DERIVA ELASTICA	H (m)	DERIVA	R	DERIVA POR PISO	D limite	CUMPLE
2	ESTATICO X	0,361	0,090	3,500	0,026	5,000	0,097	0,02	NO
1	ESTATICO X	0,045	0,013	3,450	0,004	5,000	0,014	0,02	OK

Tabla 32: Deriva en X Nec-11

Fuente: Autor.

# PISO	SOLICITACIÓN	U <sub>y</sub> (m)	DERIVA ELASTICA	H (m)	DERIVA	R	DERIVA POR PISO	D limite	CUMPLE
2	ESTATICO Y	0,321	0,082	3,500	0,023	5,000	0,088	0,02	NO
1	ESTATICO Y	0,035	0,010	3,450	0,003	5,000	0,011	0,02	OK

Tabla 33: Deriva en Y Nec-11.

Fuente: Autor.

#### 4.11. Estático no lineal (Pushover).

Basado con la FEMA 356 tenemos la combinación de carga gravitacional: 1,1(CM + 0,25 CV).

#### 4.11.1. Creación de carga gravitacional.

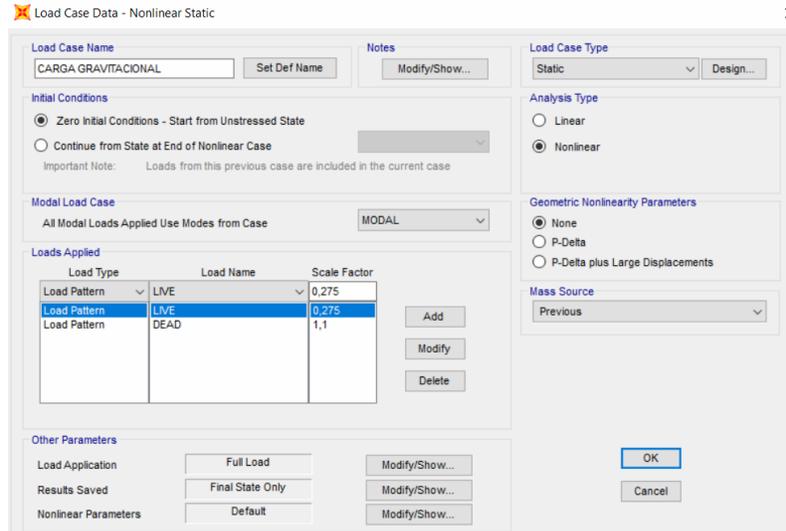


Ilustración 73: Creación de Carga gravitacional en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.11.2. Creación de carga Pushover X

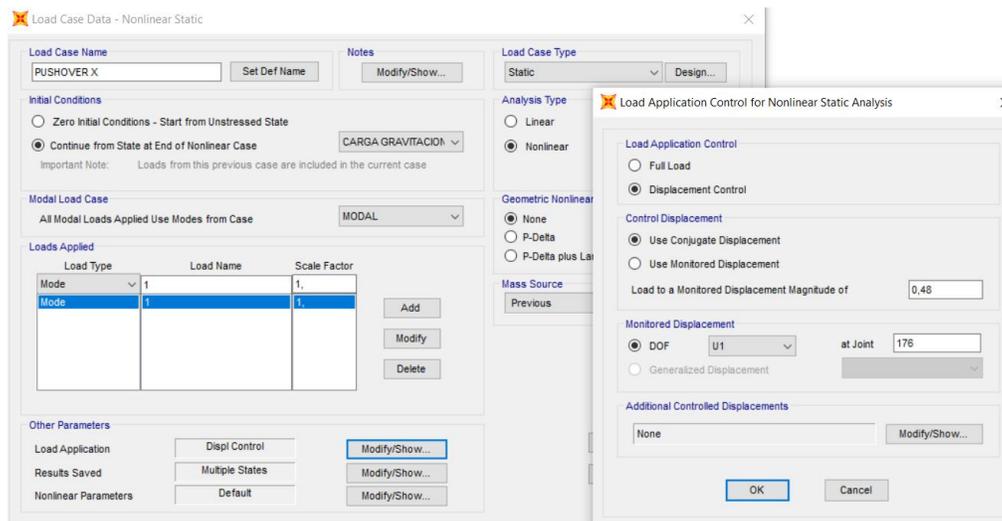


Ilustración 74: Creación de carga gravitacional en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

La magnitud de desplazamiento de 0,48 es el 4% aproximadamente el valor global de la deriva, sin embargo, en la norma NEC-15 menciona que debemos utilizar el 2% del valor de la deriva global; por lo cual en este caso de estudio vamos a hacer llegar hasta un 4% como un valor de desplazamiento solicitado por nuestra recomendación.

### 4.11.3. Converger

Para mostrar la solución en 10 pasos y pueda converger.

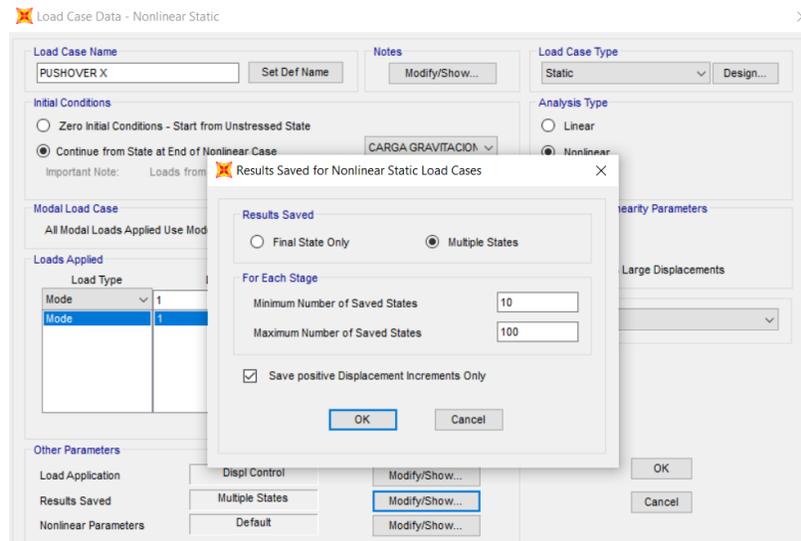


Ilustración 75: Parámetros para la solución del desplazamiento en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

### 4.11.4. Espectro pushover

Factor de reducción de resistencia sísmica  $R=1$

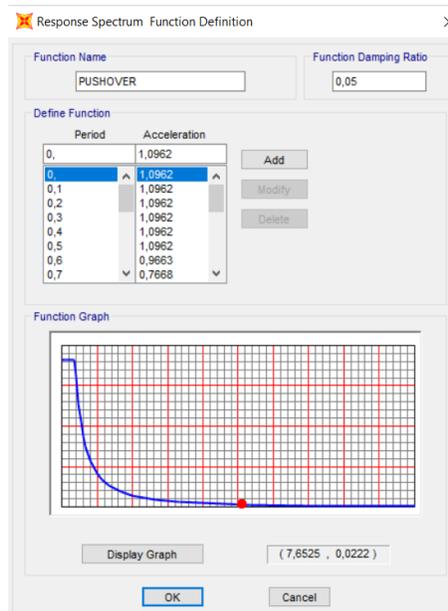


Ilustración 76: Espectro Pushover en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

#### 4.11.5. Rotulas plásticas

Se coloca las rótulas plásticas al 5% y 95% de la longitud de las columnas según la FEMA 356.

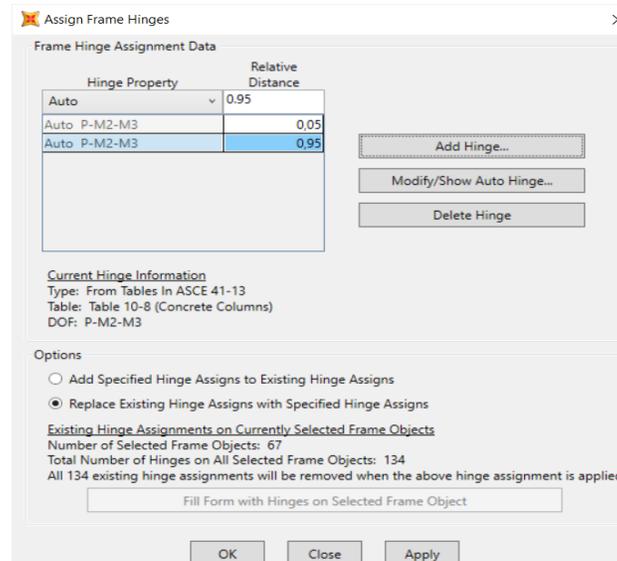


Ilustración 77: Aplicación de Rotulas Plásticas en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

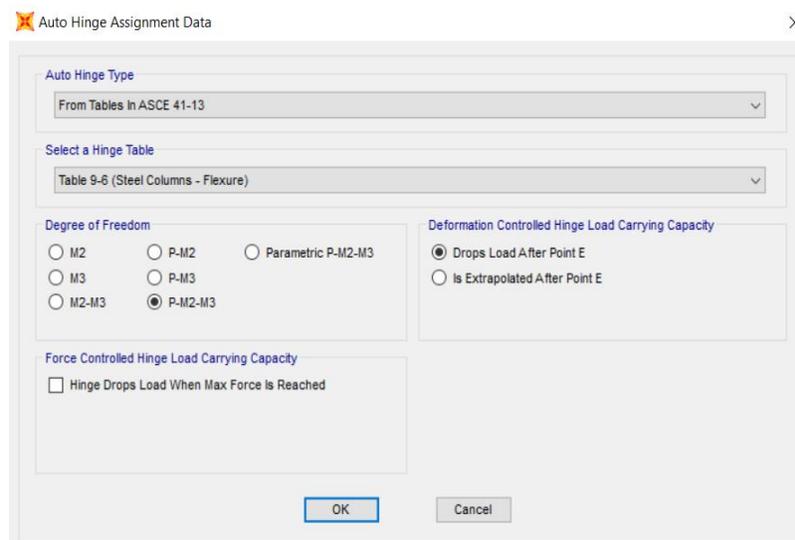
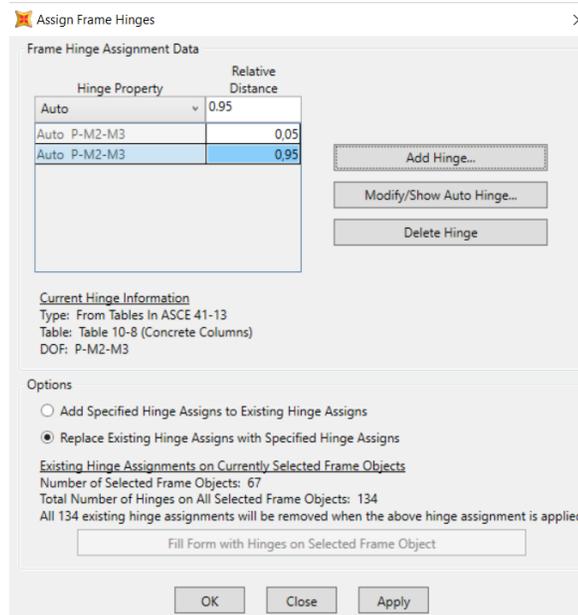


Ilustración 78: Aplicación de Rotulas Plásticas en columnas en Sap 2000.

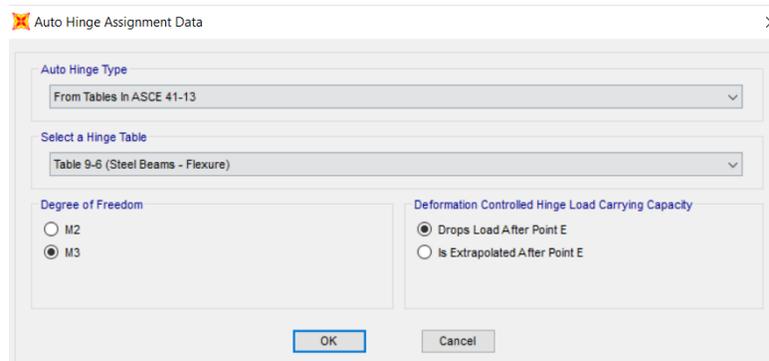
Fuente: Sap 2000.

Se coloca las rótulas plásticas al 5% y 95% de la longitud de las vigas según la FEMA 356.



*Ilustración 79: Aplicación de Rotulas Plásticas en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*



*Ilustración 80: Aplicación de Rotulas Plásticas en vigas en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*

#### 4.11.6. Pasos de Desempeño

Generación de las rotulas plásticas en columnas y vigas según los pasos de desempeño.

Paso 1

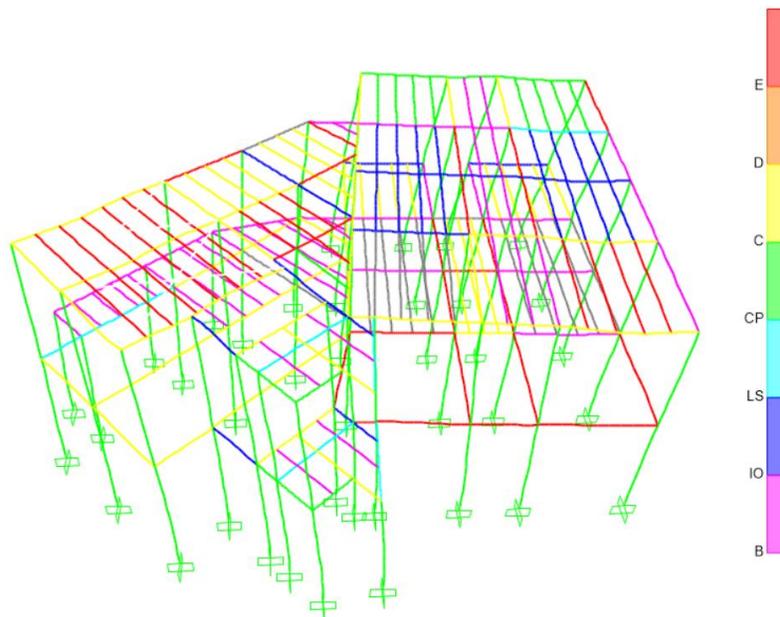


Ilustración 81: Paso 1 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

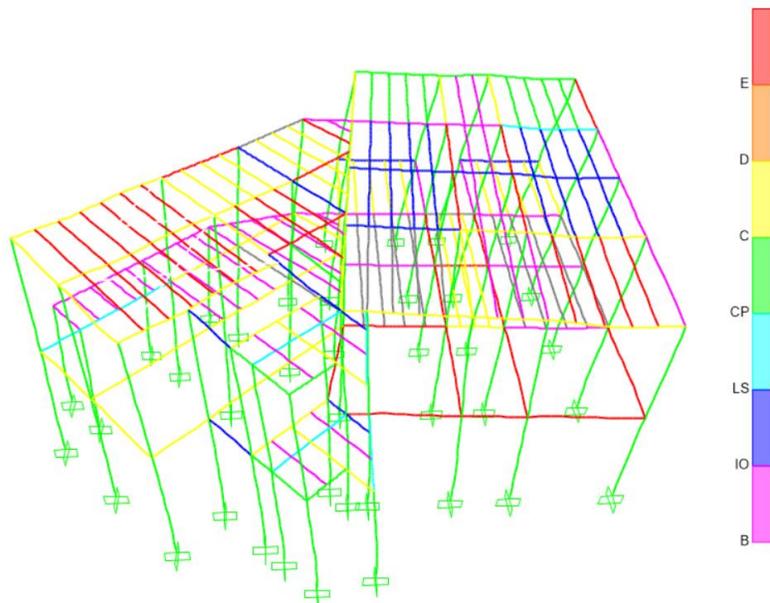
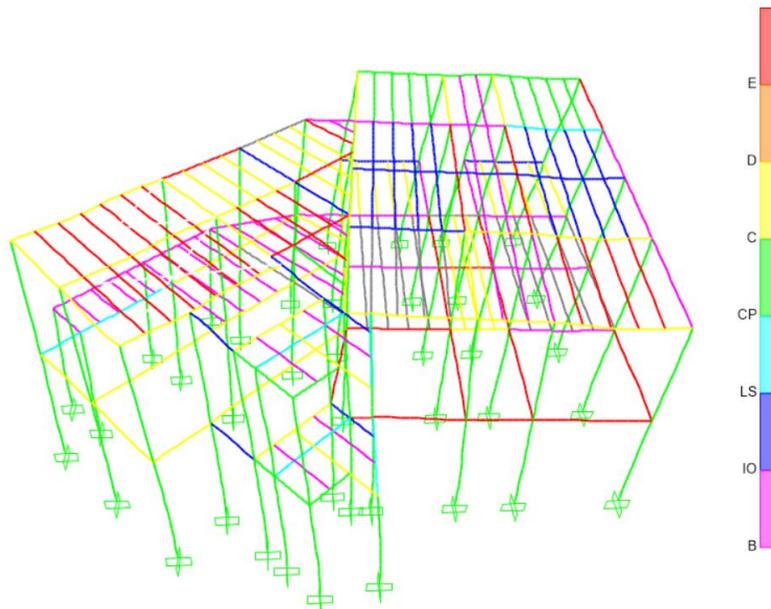


Ilustración 82: Paso 1 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

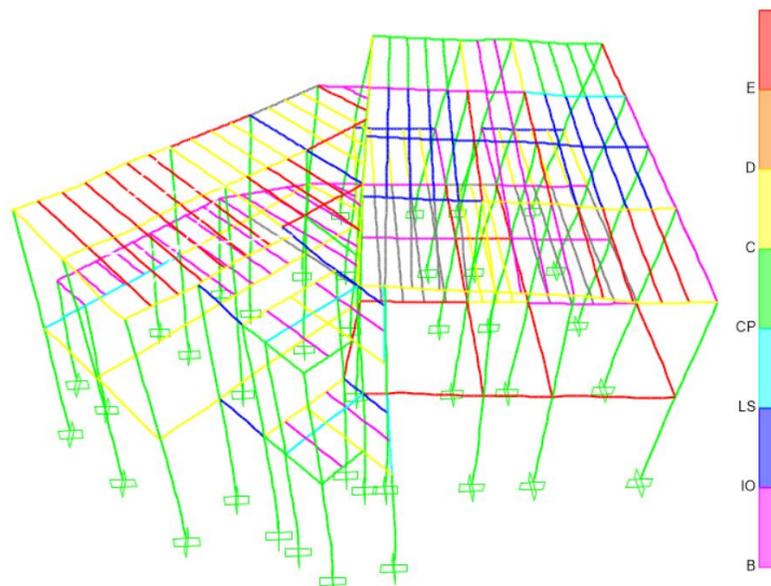
En la ilustración 82 y 83 donde se puede observar que no se genera ninguna rotula plástica en las columnas y vigas con Pushover X, Y.

Paso 2



*Ilustración 83: Paso 2 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*

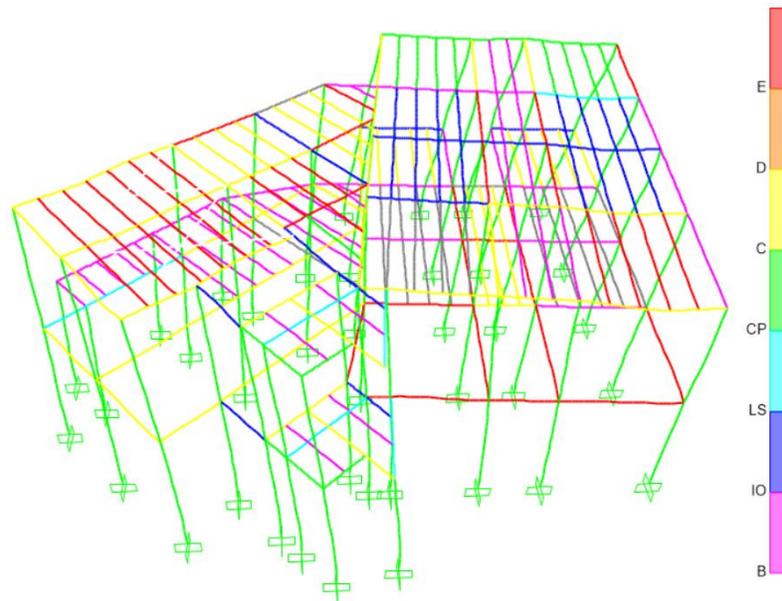


*Ilustración 84: Paso 2 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*

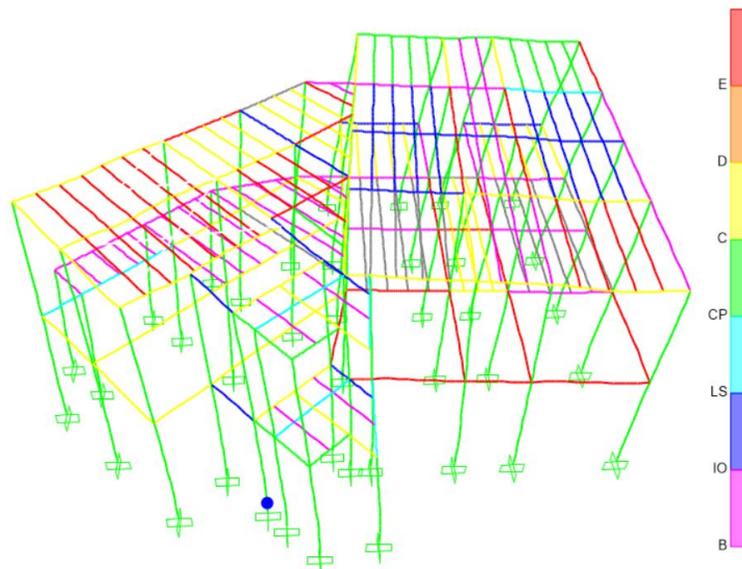
En la ilustración 84 y 85 no se tiene todavía rotulas plásticas en columnas y vigas con Pushover X, Y.

### Paso 3



*Ilustración 85: Paso 3 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*



*Ilustración 86: Paso 3 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.*

*Fuente: Sap 2000.*

En la ilustración 86 y 87 se observa que con Pushover X no se tiene ninguna rotula plásticas, mientras que con Pushover Y se genera una rotulas plástica en la cimentación que está en el desempeño IO (ocupación inmediata).

## Paso 4

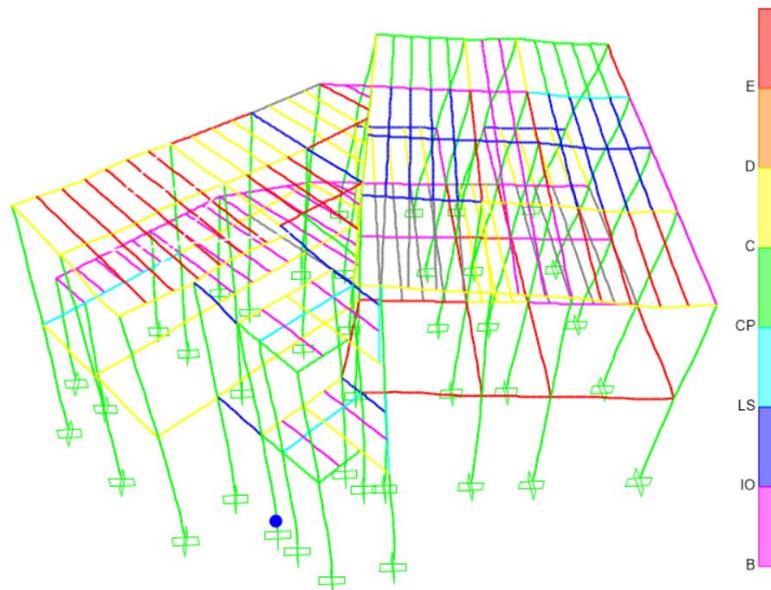


Ilustración 87: Paso 4 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

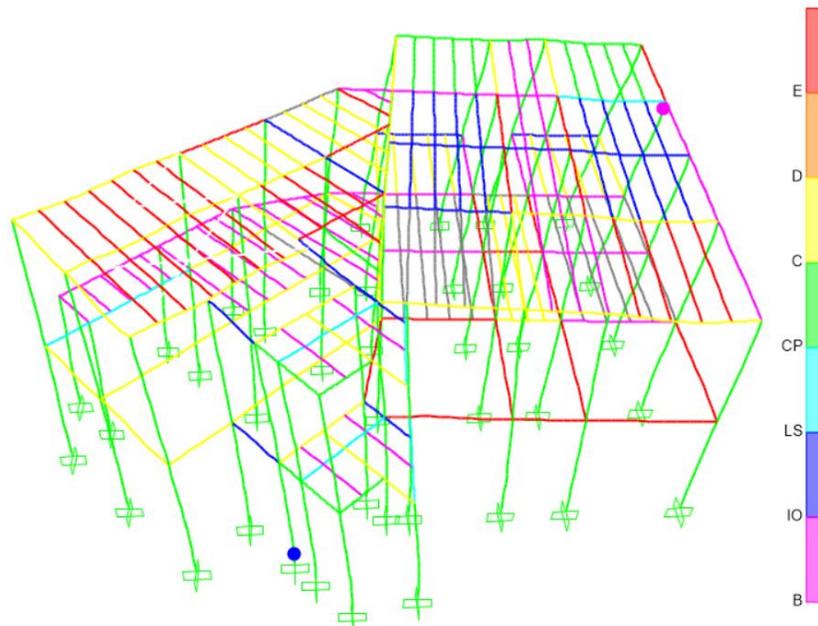


Ilustración 88: Paso 4 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 88 y 89 se observa que ya se tiene una rotula plástica en la cimentación que está en el desempeño IO (ocupación inmediata) donde es permitido con Pushover X, Y

## Paso 5

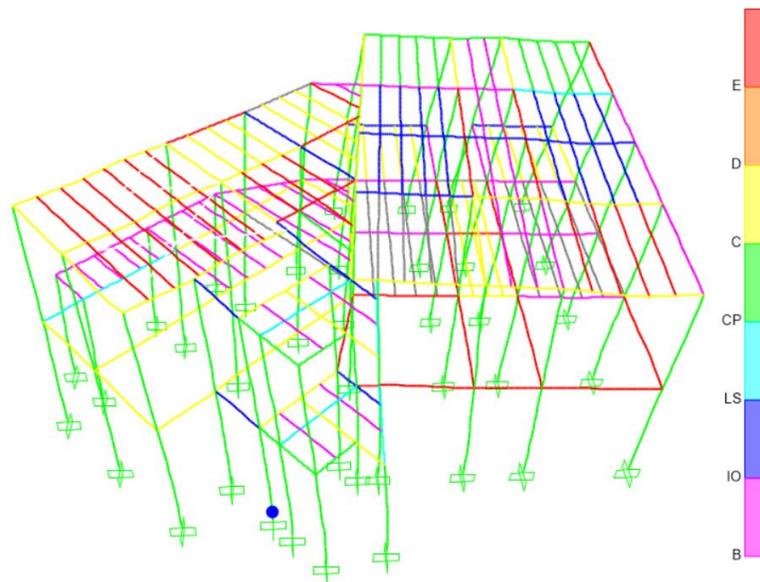


Ilustración 89: Paso 5 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

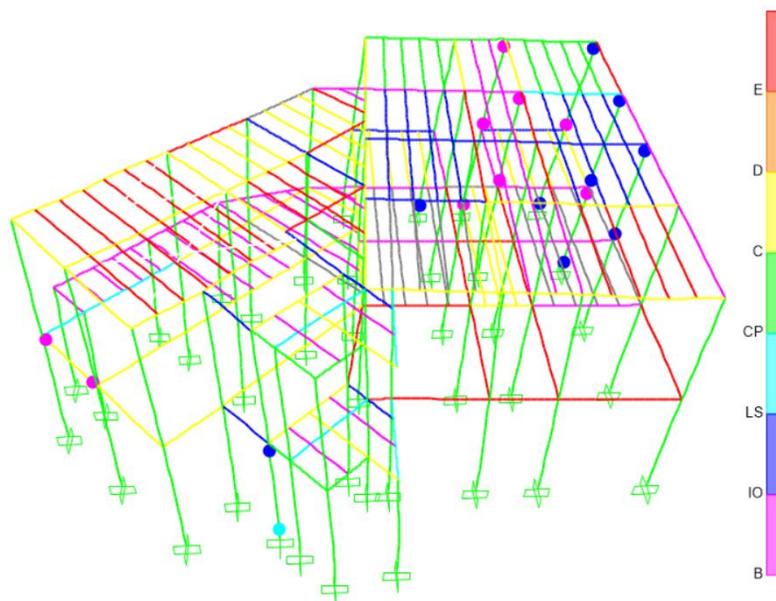


Ilustración 90: Paso 5 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 90 y 91 se observa que se tiene una rotula plástica con Pushover X igual que el anterior paso de desempeño y con Pushover Y se genera rotulas plásticas en pie y cabeza de columna, que está en el rango de ocupación inmediata y seguridad de vida.

## Paso 6

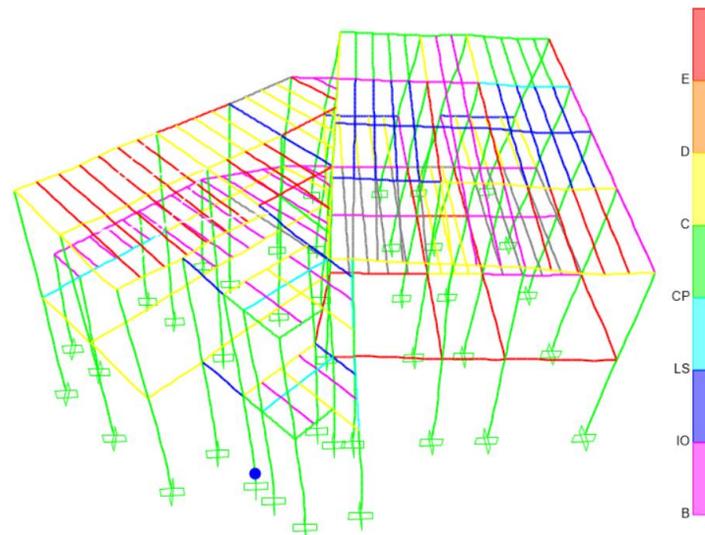


Ilustración 91: Paso 6 Rotulas plásticas pushover x en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

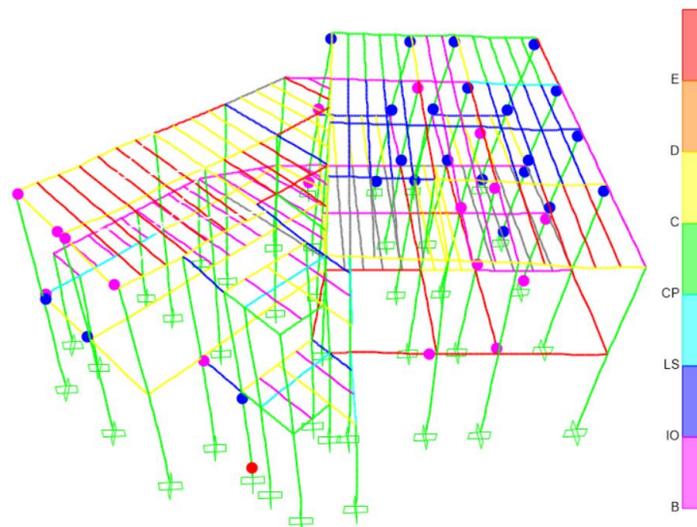


Ilustración 92: Paso 6 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 92 y 93 se observa en este paso de desempeño es igual que el anterior con Pushover X, la diferencia que en Pushover Y se generan más rotulas plásticas en el rango de ocupación inmediata y seguridad de vida en columnas, ya tenemos la presencia de rotula plástica de estabilidad estructural paso de desempeño en el cual está al límite del colapso parcial o total.

## Paso 7

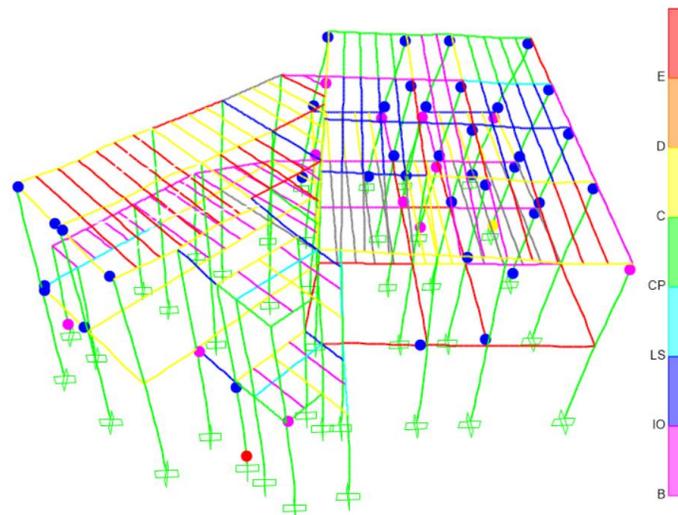


Ilustración 93: Paso 7 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 94 se genera solo paso de desempeño con Pushover Y con más rotulas plásticas en el rango de ocupación inmediata y seguridad de vida en columnas.

## Paso 8

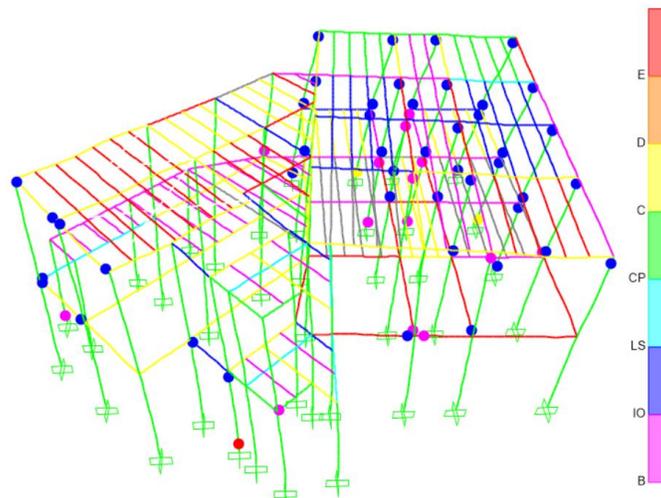


Ilustración 94: Paso 8 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 95 se genera solo paso de desempeño con Pushover Y con más rotulas plásticas en el rango de seguridad de vida en columnas y vigas.

## Paso 9

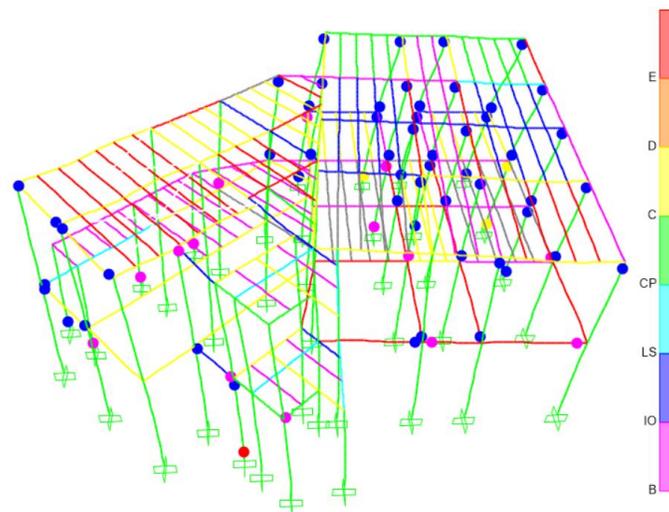


Ilustración 95: Paso 9 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 96 se genera solo paso de desempeño con Pushover Y con más rotulas plásticas en el rango de seguridad de vida en columnas y vigas más que el anterior paso de desempeño.

## Paso 10

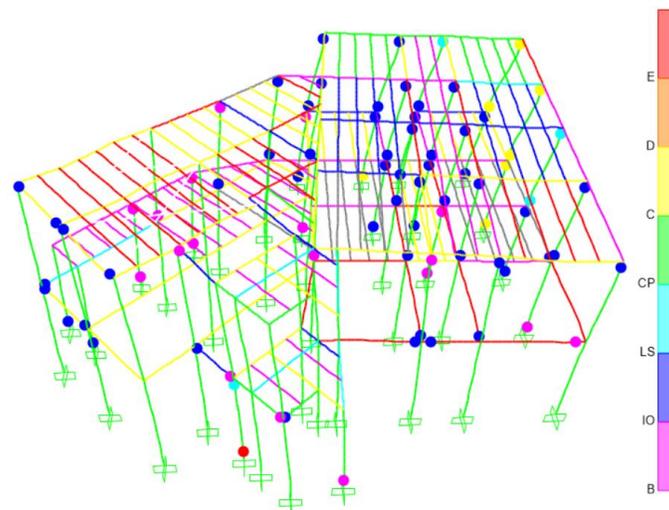


Ilustración 96: Paso 10 Rotulas plásticas pushover y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 97 se genera solo paso de desempeño con Pushover Y con más rotulas plásticas en el rango de seguridad limitada y colapso con alto peligro de vida.

#### 4.11.7. Curva de Capacidad

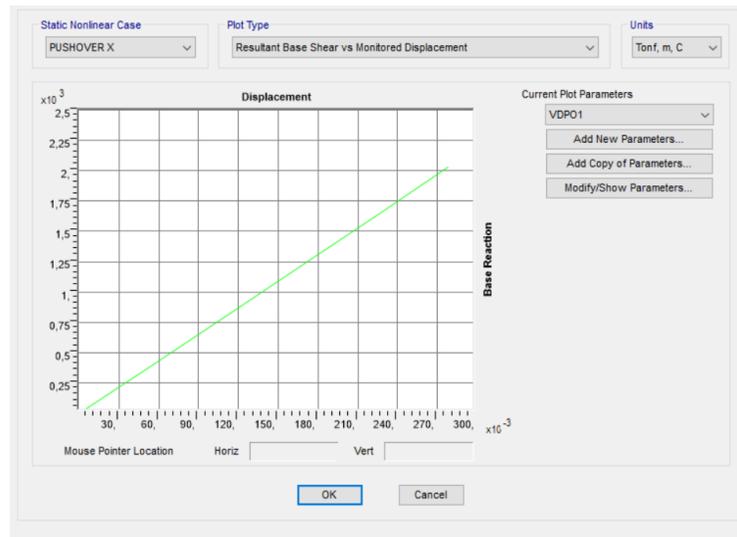


Ilustración 97: Curva capacidad vs desplazamiento con Pushover X en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

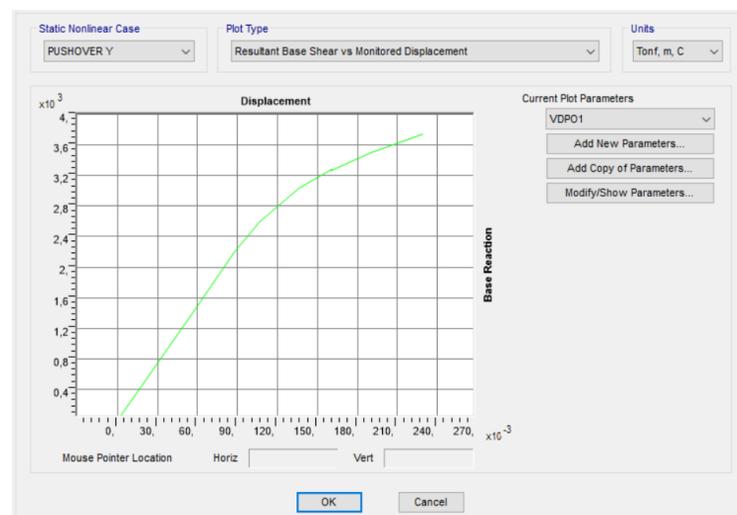


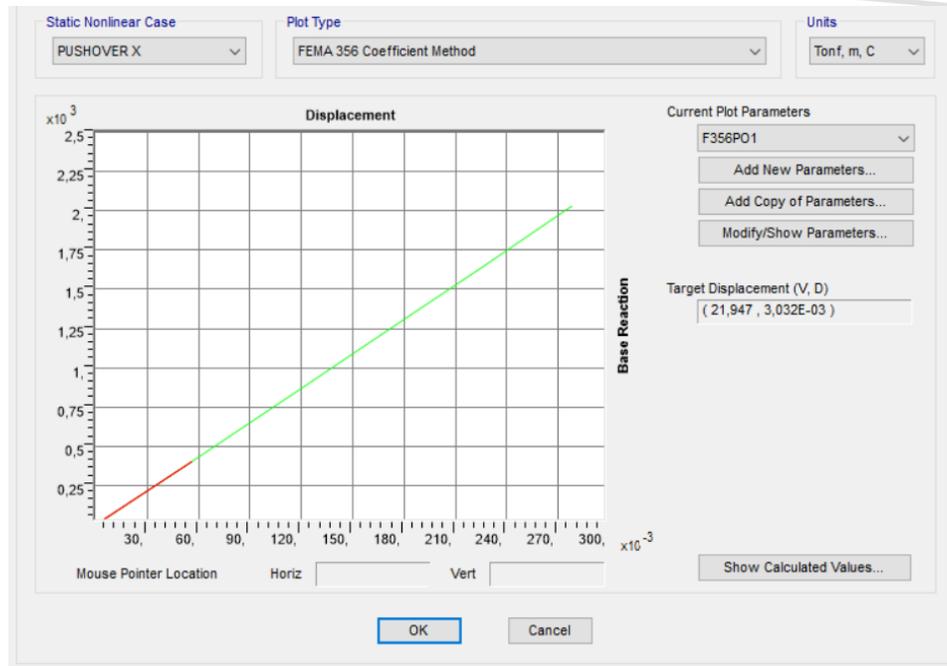
Ilustración 98: Curva capacidad vs desplazamiento con Pushover Y en Sap 2000.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 98 tenemos linealidad en la capacidad de la estructura lo cual se encuentra en rango elástico con Pushover X, en la ilustración 99 tenemos la curva de capacidad con Pushover Y.

##### 4.11.7.1. Curva FEMA 356

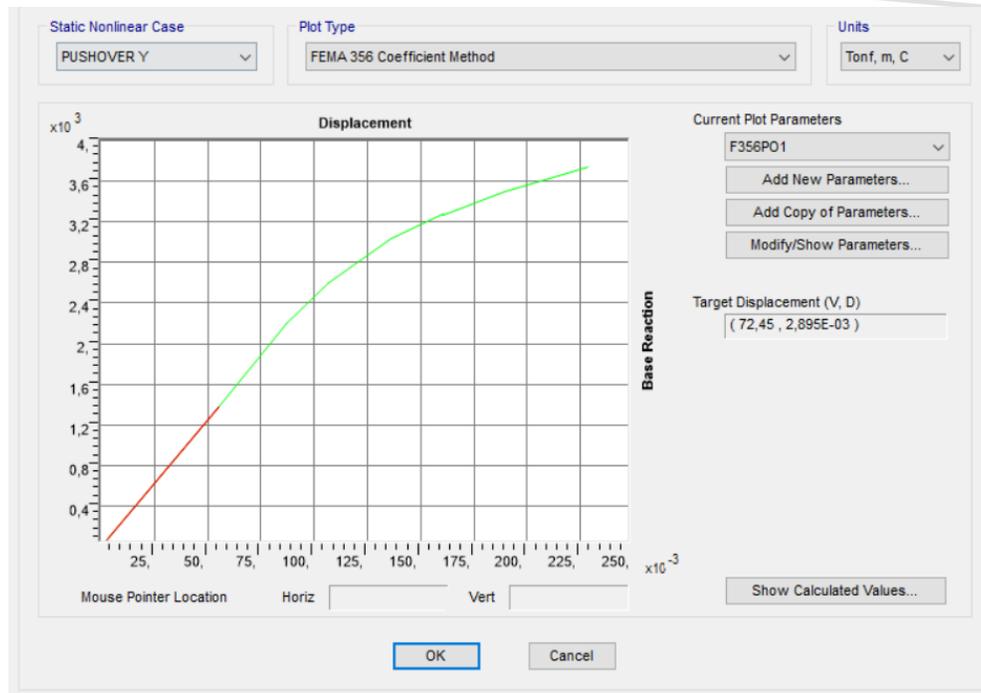
Se implementa la norma FEMA 356 donde a través del espectro aplicable, pero tomando en cuenta un factor de reducción  $R = 1$  para el método de Pushover.



*Ilustración 99: FEMA 356 curva método de coeficiente con Pushover x.*

*Fuente: Sap 2000.*

En la ilustración 100 se puede observar el punto de desempeño incluyendo el método bilineal donde se puede observar que se tiene un pequeño desplazamiento ya que se encuentra en el rango elástico con Pushover x.



*Ilustración 100: FEMA 356 curva método de coeficiente con Pushover y.*

*Fuente: Sap 2000.*

Los parámetros del FEMA 356 nos ayuda a definir la evaluación de las estructuras, así como la capacidad y limitación de desempeño, en la ilustración 101 con Pushover Y se puede observar que no poseemos ningún punto de desempeño porque en este sentido la estructura ya sufre un colapso.

#### 4.11.8. Curva ATC-40

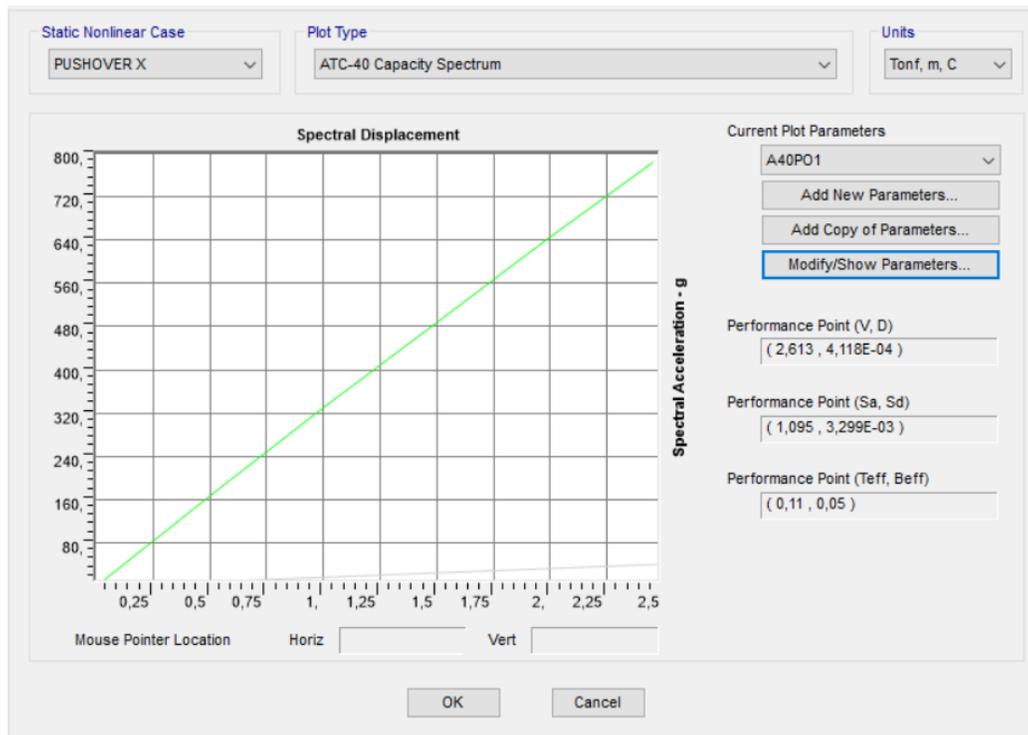


Ilustración 101: ATC 40 curva de capacidad del espectro Pushover x.

Fuente: Sap 2000.

En la ilustración 102 se observa que tenemos una linealidad con parámetros ATC-40.

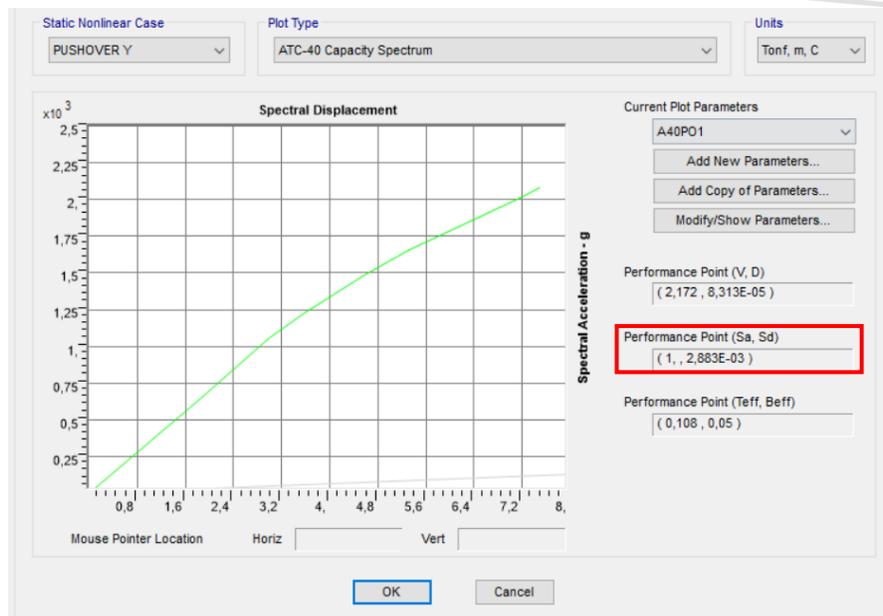


Ilustración 102: ATC 40 curva de capacidad del espectro Pushover y.

Fuente: Sap 2000.

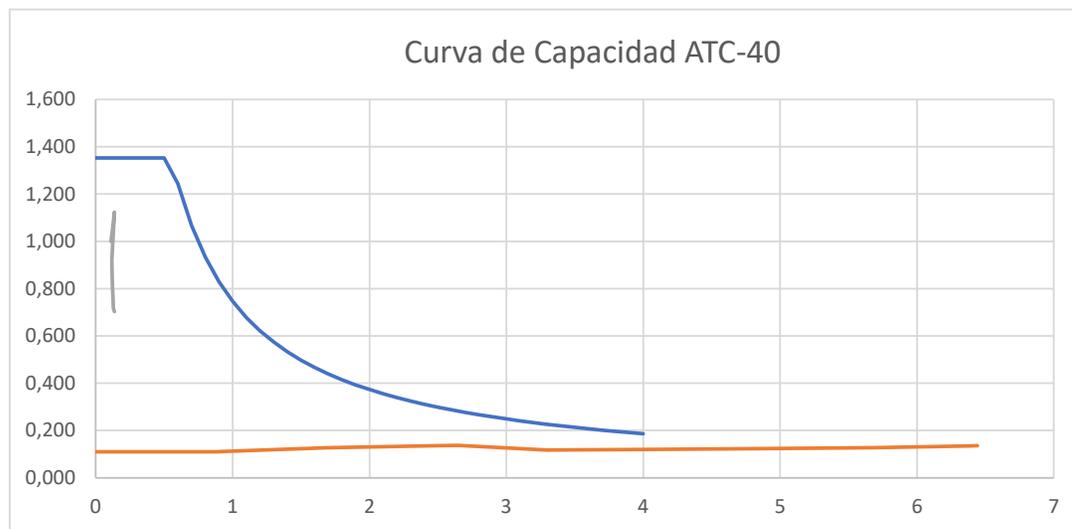
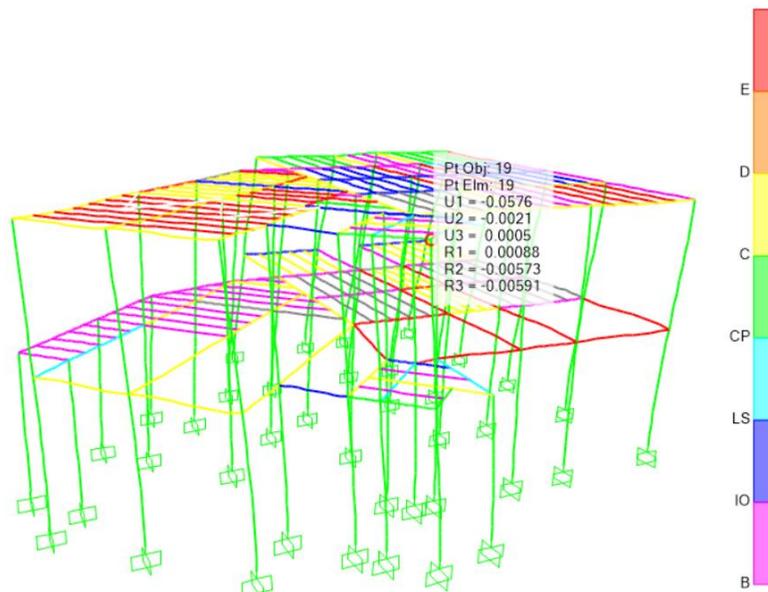


Ilustración 103: Curva de capacidad ATC-40.

Fuente: Autor.

En la ilustración 103 y 104 se observa, que el programa y la gráfica hecha con los resultados con Pushover Y, lo que cual la capacidad y el tiempo de efectividad es más pequeño que el espectro que se aplicó, de tal manera la demanda y el tiempo de efectividad está presente, pero para tener un paso de desempeño se tiene que interactuar y cruzar las curvas antes mencionadas, lo cual no se tiene. Se tiene un desplazamiento de 0,0028 cm.



*Ilustración 104: Desplazamiento Paso 1.*

*Fuente: Sap 2000.*

En la ilustración 105 se puede observar que en este nudo se presenta un desplazamiento del 0,0021 cm donde llega el paso de desempeño la edificación comparando la curva de capacidad del espectro ATC 40 que son similares los desplazamientos.

## 5. CAPITULO.

### 5.1. Conclusiones.

Finiquitando el análisis de desempeño sísmico del Bloque de Mecánica del campus Miguel de Cervantes de la Universidad Internacional Sek de la ciudad de Quito, se da por cumplido los objetivos planteados en presente trabajo de titulación; tomando en cuenta la metodología aplicada y el análisis de resultado se puede apreciar que la fase inicial presenta ciertas particularidades del comportamiento de la estructura.

- Se ejecutó el cálculo manual de pesos de todos los elementos estructurales para comparar con el programa Sap 2000 y se asemeje a la realidad. Dando cumplimiento de la NEC-11 y la NEC-15 la carga muerta total en calculo manual presenta un valor de  $CM= 267,60$  Tn que comparado con el software Sap 2000 arroja un resultado de  $CM= 260,04$  Tn mostrando una diferencia del 1%.
- En aplicación de la norma la NEC-11 y NEC-15 el período de vibración estructural del primer modo calculado mediante el Software Sap 2000 arroja un valor de  $T=0,51$  s, que permite evidenciar que ambas normas tienen parámetros similares. La estructura presentó un desplazamiento torsional en el primer modo y de traslación en los dos modos de vibración siguiente; es decir este comportamiento es inusual en la estructura y puede generar en primera instancia la idea de un posible colapso. Sin embargo, no se conoce las propiedades reales de la mampostería del edificio porque esto puede generar más rigidez y permitir la obtención de datos más certeros del edificio, pero para el análisis estático y no lineal solo se utilizó los elementos estructurales.
- En la mampostería se considera los desplazamientos torsionales y laterales, porque se presenta pequeñas fisuras en la misma.

En aplicación de la NEC-11 y NEC-15, los cálculos arrojados de forma manual y mediante en el programa Sap 2000 del espectro, cortante basal y derivas indica que:

- Según la investigación adecuada del doctor Roberto Aguiar en la Microzonificación del Suelo de Quito, se identifica que el tipo de suelo

donde está ubicada la estructura en estudio es tipo D con una caracterización de peligro sísmico alto siendo una zona sísmica V.

- En el Análisis estático lineal a la estructura en estudio, la norma de construcción que se aplicó para la edificación es la NEC-11 y la norma actual vigente NEC-15, con la que se verificó el comportamiento de aplicación de fuerzas laterales, tomando en cuenta que el coeficiente de importancia para la edificación es de 1,3 debido a que su estructura es de uso educativo, según las normas antes mencionadas. Considerando el coeficiente del cortante basal es de 0,38 las irregularidades en planta, las irregularidades en elevación, propiedades de suelo y de sitio con la norma NEC-11 y 0,27 con las NEC-15 para la representación de un sismo con periodo de retorno de 475 años, teniendo una diferencia del 41%, siendo el valor mayor con la NEC-11.
- El cálculo manual del cortante basal muestra un valor de 102,25 Tn con la norma NEC-11 y un valor de 72,43 Tn con la norma NEC-15; así en comparación con el programa estructural Sap 2000 genera un valor del cortante basal de 99,33 Tn con la norma NEC-11 y un valor de 70,47 Tn con la norma NEC-15, y evidenciando un porcentaje de diferencia del 41%, diferencia que depende de los factores de sitio.
- Analizando las derivas se obtuvo valores permisibles basados a las dos normas, aplicando el espectro inelástico en los dos sentidos que tiene que ser inferior a 0,02 siendo así que; en el chequeo de las derivas, en algunas no cumplen lo establecido y así se considera que no pasan las derivas.

En base a los resultados del análisis no lineal que se realizó para verificar el desempeño sísmico de la edificación ante la actividad sísmica, se indica que:

- Mediante el análisis estático no lineal (Pushover) la edificación presentaría una capacidad de desempeño de colapso.
- Haciendo énfasis en el análisis de Pushover del sentido X, se concluye que no tiene una capacidad de desempeño.
- En el análisis del Pushover en sentido Y se puede evidenciar que la edificación no llega a tener un punto de desempeño, debido que las rotulas

plásticas salen en pie y cabeza de columnas, llegando a un colapso. Esto se debe, por los tipos de acero con sus conexiones, secciones de las columnas, vigas y viguetas.

## 5.2. Recomendaciones.

- Para la ductilidad del material se recomienda, el reforzamiento de los elementos estructurales que sean altamente calificables debido que conforman la estructura.
- Para la reducción del periodo que tenemos un  $T=0,51$  s se recomienda que al hacer en análisis estructural también se incluya la mampostería, debido a que la misma ayuda con rigidez a la edificación, lo cual permitirá una reducción en el periodo de vibración.
- Para todo estudio de análisis de desempeño se recomienda realizar un estudio de suelo, porque permitirá obtener la caracterización de los parámetros del suelo en la cual está ubicada la estructura, para este caso no se utilizó dicho estudio.
- Para hacer el análisis estático lineal y no lineal (Pushover) se recomienda la implementación del software Etabs, en el cual se pueda realizar comparaciones verificando la veracidad de los resultados.
- Para realizar el análisis de desempeño sísmico se recomienda, tener en cuenta los elementos de mampostería ya que en el presente estudio no se toma en cuenta; para cumplir los parámetros de la norma FEMA 356 y ATC 40.
- Para las secciones de vigas y columnas que nos da la normativa FEMA 356 y ATC 40 se recomienda, utilizar los factores de rigidez, porque esto influirá que cambie la capacidad de desempeño de la estructura, debido a que para esta modelación no utilizó dichos factores.
- Para el punto de desempeño se recomienda, tomar en cuenta las conexiones en estructura metálica que puede ser soldados y laminados, porque al hacer énfasis a la normativa FEMA 273 se tiene que verificar estas conexiones.

### 5.3. Bibliografía.

Aguiar Falconí, R. (2013). *Microzonificación Sísmica de Quito*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas, Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Aguiar Falconí, R. (2014). *Sismos en Quito*. Quito: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Aguiar Falconí, R. (2017). *MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO*. QUITO: Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE .

Aguiar, & Ruiz. (2002). *Ingeniería Sísmica*. Quito: Univercidad Centra del Ecuador.

Aguiar, R. (2003). *Análisis Sísmico por Desempeño*. Quito: Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Altamirano, D. A. (2019). *Evaluación del desempeño sísmico del edificio de la Oscus mediante comparación del análisis estático no lineal (pushover), análisis estático modal (pushover multimodal) y dinámico no-lineal (historia de respuesta)*.

Alvarado Abad, J. C. (2015). *Estudio de los Coeficientes de Reduccion de Respuesta Estructural "R" de la norma ecuatoriana de la construcción*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Alvarado et, a. (2014). *PELIGROSIDAD SÍSMICA DE QUITO Y EL MÉTODO DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD CON CEINCI-LAB*. Quito: Tectonics.

ATC-40. (1996). *ATC*.

Cabezas Almeida, J. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-RE, 2015)*. Quito: UCE.

Cabrera, H. (2014). *Módulo de elasticidad de hormigones de peso normal empleados en el ecuador f'c: 21,24,28,35 Mpa*. Quito: Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

F., C., & V., E. (2002). *Espectro de respuesta y de diseño*. Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo.

FEMA 273. (1996). *Application of FEMA-273 and Analysis Modal Pushover*. Virginia: Federal Emergency Management Agency.

FEMA 273. (1997). *FEMA 273 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.

FEMA 356. (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Virginia: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY.

FEMA P-58-1. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings*. California: APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL.

FEMA P-58-6. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings*. California: Expected Seismic Performance of Code-Conforming Buildings.

Lara , M., Aguirre, H., & Gallegos, M. (2016). Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que colapsaron en el Terremoto de 16 de Abril de 2016. *Revista Politécnica*, 42(1), 37-46.

Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC\_SE\_DS\_(Peligro Sísmico)*, Dirección de la Comunicación social. Quito: MIDUVI.

Moreno González, R., & Bairán García, J. (1998). *Ingeniería Sísmica*. Española. NEC. (2011). *NEC Peligro Sísmico*. Quito.

NEC-11, C. (2011). *NEC-11 CARGA NO SÍSMICA*. QUITO: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

NEC-15, C. (2015). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*, *NEC-SE-CG*. Quito: NORMA ECUATORIANA DE LA CONTRUCCIÓN.

NOVACERO. (2021). *CATALOGO NOVACERO*. QUITO: NOVACERO.

PÁEZ VARGAS, C. (2014). *determinación de la carga permanente debida al peso de mampostería de bloque en edificaciones de vivienda*. quito: pontificia universidad católica del ecuador, facultad de ingeniería civil.

Peña, C. (2017). *Evaluación del desempeño sísmicos de un edificio de once pisos utilizando analisis estatico y analisis dinamico-no lineal*. Lima.

Peralta Galvez, H., Tipaza, S., & Arroyo Matus, R. (2014). Incertidumbre en la evaluación de periodos en edificios de mampostería tipo INFONAVIT. Guerrero: Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Terán, H. (1997). *Desempeño sísmico*. Madrid: Investigación de desempeño sísmico.

## 5.4. Anexos.

### 5.4.1. Planos Estructurales.

#### 5.4.1.1. Planta General de Cimentaciones.

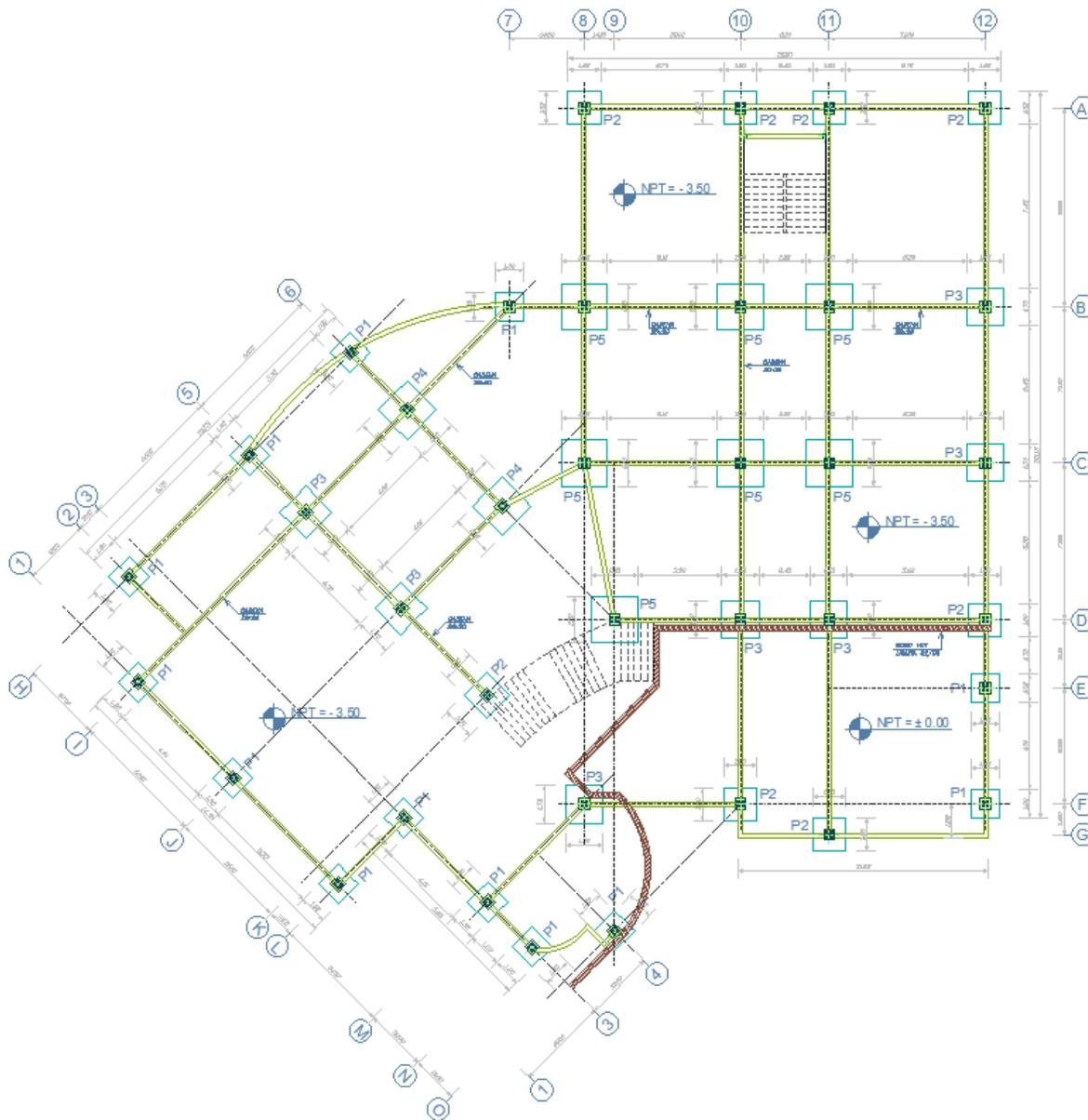


Ilustración 105: Planta general de cimentaciones.

Fuente: Universidad Internacional Sek.

### 5.4.1.2. Planta de Vigas Piso Terminado Nivel $\pm 00,00$ .

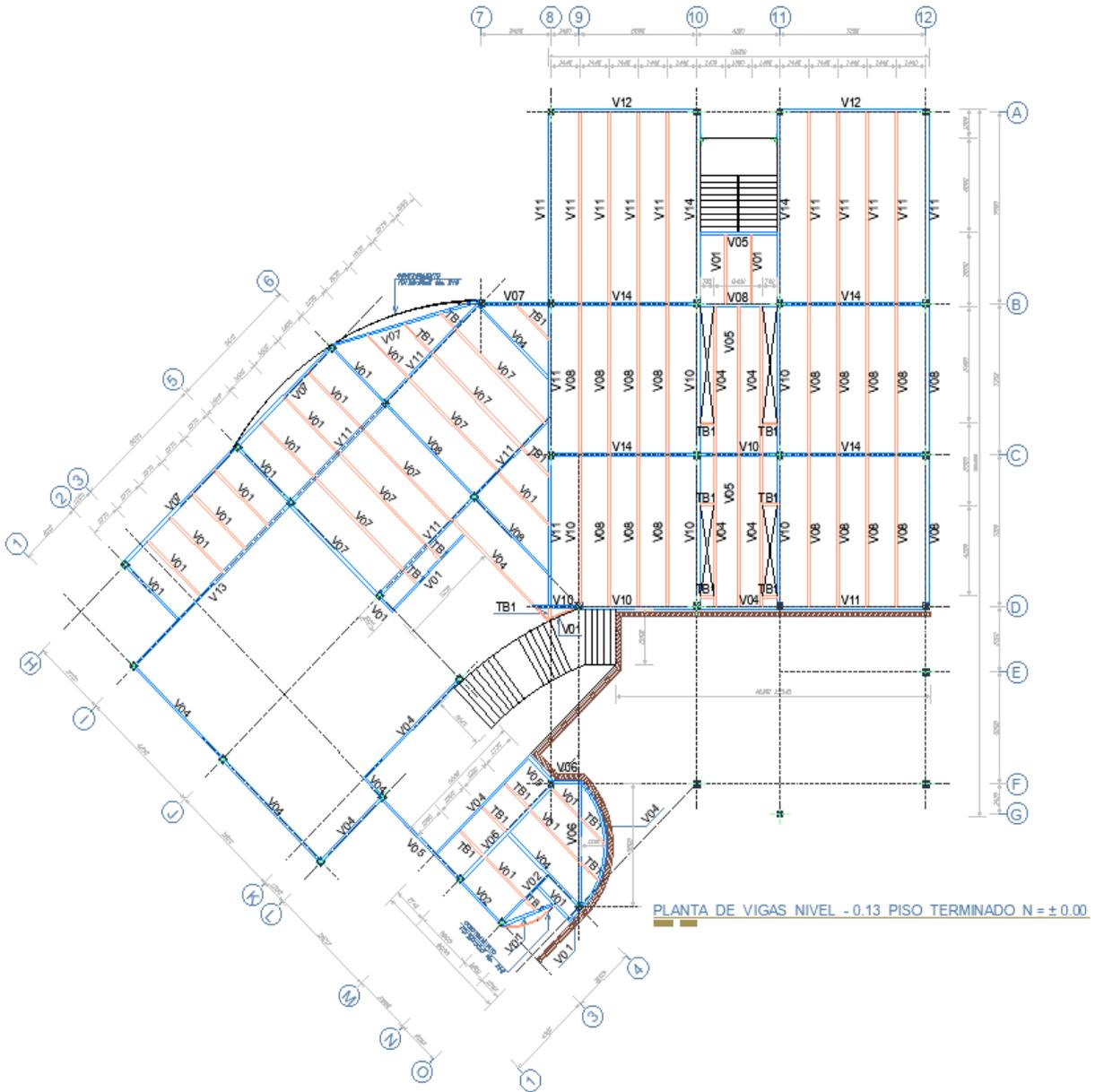


Ilustración 106: Planta de vigas piso terminado Nivel  $\pm 00,00$ .

Fuente: Universidad Internacional Sek.

### 5.4.1.3. Planta de Vigas Piso Terminado Nivel $\pm 03,45$ .

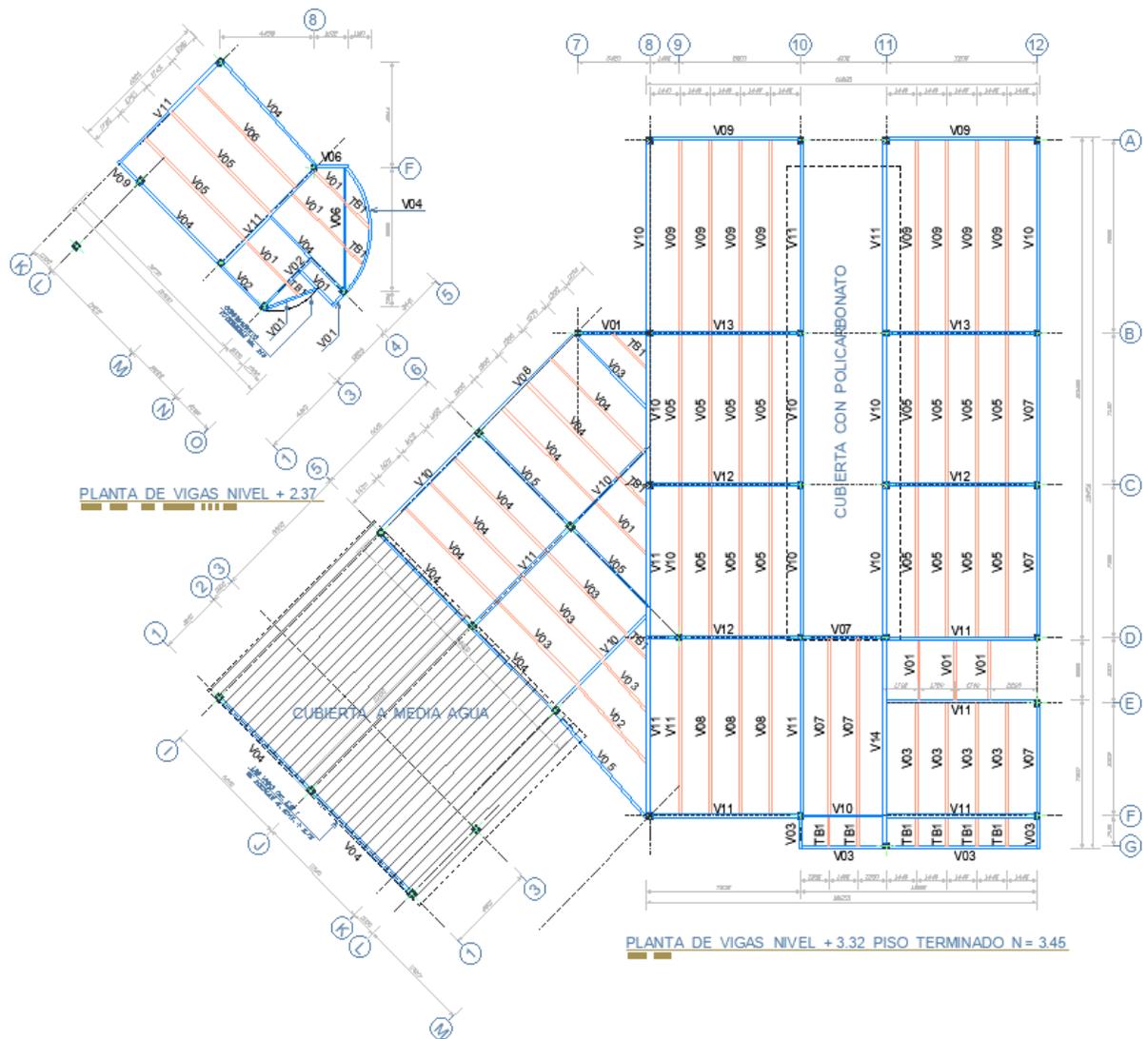
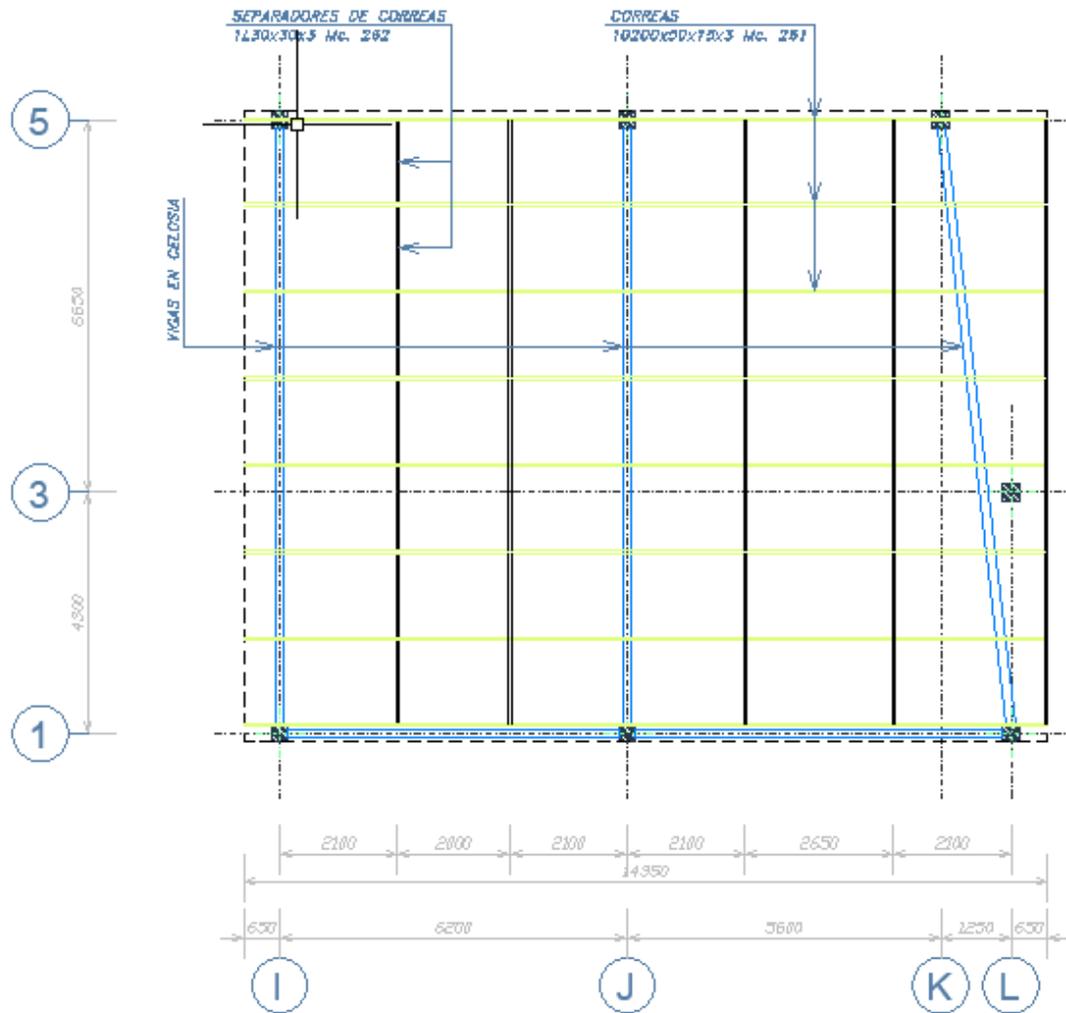


Ilustración 107: Planta de vigas piso terminado Nivel  $\pm 03,45$ .

Fuente: Universidad Internacional Sek.

#### 5.4.1.4. Planta de Cubierta Media Agua Sobre Ingreso.



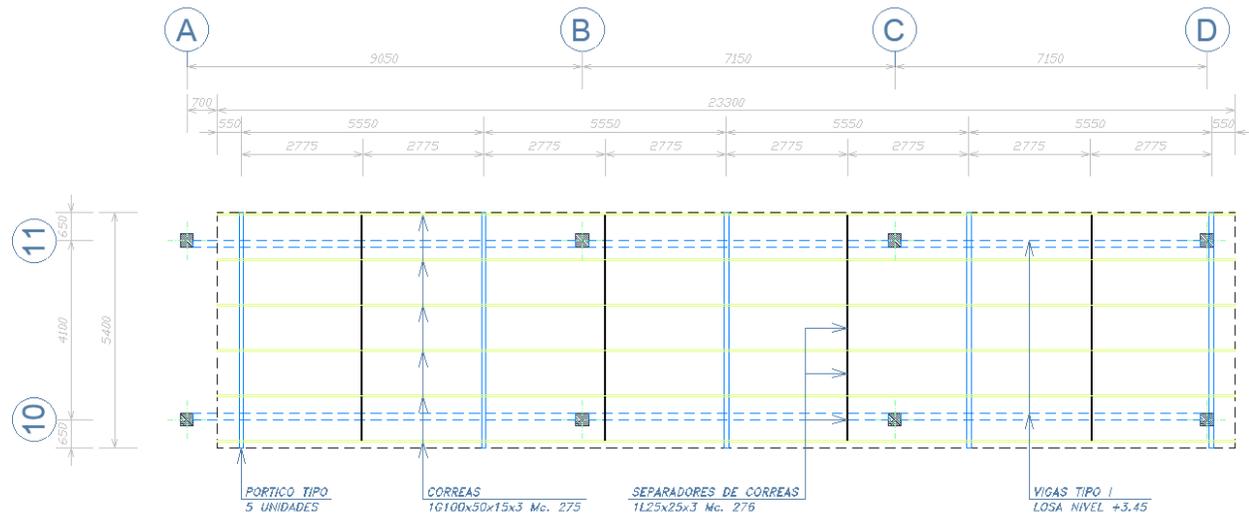
### PLANTA CUBIERTA A MEDIA AGUA SOBRE INGRESO

Escala 1:100

Ilustración 108: Planta de cubierta media agua sobre Ingreso.

Fuente: Universidad Internacional Sek.

### 5.4.1.5. Planta Cubierta con Policarbonato.



### PLANTA CUBIERTA CON POLICARBONATO

Escala 1:100

Ilustración 109: Planta cubierta con policarbonato.

Fuente: Universidad Internacional Sek.

### 5.4.1.6. Detalle de columnas Metálicas

CUADRO DE COLUMNAS METÁLICAS							
COLUMNAS TIPO 01	COLUMNAS TIPO 02	COLUMNAS TIPO 03	COLUMNAS TIPO 04	COLUMNAS TIPO 05	COLUMNAS TIPO 06	COLUMNAS TIPO 07	COLUMNAS TIPO 08
H-2 H-5 H-6	3 (L-M-N) O-4	A (8-10-11-12) B-7 D (9-10-12) I-6 J-6	B (8-10-11-12) C (8-10-11-12) D-11 F-8	I-5 J-5 K-5	I-1 J-1 L-1	E-12 F-10 F-12	G-11
3u	4u	10u	10u	3u	3u	3u	1u
N = -0.05	N = +2.45	N = +3.40	N = +3.40	N = +4.25	N = +2.80	N = +3.40	N = +3.40
N = -3.60	N = -3.60	N = -3.60	N = -3.60	N = -3.60	N = -3.60	N = -0.10	N = -0.10

Ilustración 110: Detalle de columnas metálicas

Fuente: Universidad Internacional Sek.