



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# **FACULTAD DE INGENIERÍA**

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS B Y C DE LA I. E. JULIO RAMÓN RIBEYRO CONSIDERANDO Y SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA”

Tesis para optar el título profesional de:  
**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Bach. Cristhian Michael Aquino Carmona  
Bach. Mayra Thalía Rodríguez Cortez

**Asesor:**

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

CAJAMARCA – PERÚ  
2015

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los bachilleres Cristhian Michael Aquino Carmona y Mayra Thalía Rodríguez Cortez, denominada:

**“COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS B Y C DE LA I.E.  
JULIO RAMÓN RIBEYRO CONSIDERANDO Y SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN SUELO -  
ESTRUCTURA”**

---

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno  
**ASESOR**

---

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga  
**JURADO  
PRESIDENTE**

---

Ing. Anita Alva Sarmiento  
**JURADO**

---

Ing. Gerson Quispe Rodríguez  
**JURADO**

## DEDICATORIA

### A DIOS

Gracias a Dios por darme la vida y permitirme estar en sus planes; por darme una familia muy cariñosa y mantenerme con salud.

### A MI ABUELITA VICTORIA

Quien durante toda mi vida ha sido más que una madre, brindándome todo lo que pudo estar a su alcance, apoyándome en todas las cosas que hago, acompañándome en mis tristezas y alegrías. A ella le debo todo lo que soy.

### A MI TÍO MELQUIADES

Una persona muy especial para mí, mi ejemplo a seguir, por ser el padre que siempre se preocupó por mi educación y por estar siempre apoyándome en todo lo que me proponga.

### A MIS FAMILIARES

Con quienes siempre comparto mis deseos de superación y siempre me han deseado lo mejor.

CRISTHIAN MICHAEL AQUINO CARMONA

## DEDICATORIA

### A DIOS

A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que he dado, cuidándome y dándome la fortaleza para continuar sin desfallecer en el intento, por darme un hogar en el que siempre encontré amor y comprensión.

### A MIS PADRES

Por ser los pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiera podido conseguir alcanzar mis metas en cada etapa de mi vida. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y si he llegado hasta aquí y convertirme en lo que soy es porque tengo el gran privilegio de ser su hija. Gracias por las oportunidades dadas son los mejores padres.

### A MIS HERMANOS

Porque siempre creyeron en mí y nunca me dejaron sola, tan solo con un abrazo suyo era suficiente para saber que me apoyaban en cada decisión tomada en mi vida académica, gracias por estar en cada momento bueno o malo y sepan que con sus logros en su vida académica y profesional me motivaron a ser mejor persona, siempre llevare en mi mente y en mi corazón todas las anécdotas compartidas a su lado. Los amo.

MAYRA THALÍA RODRÍGUEZ CORTEZ



## AGRADECIMIENTO

A nuestro asesor Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno por compartir sus conocimientos, paciencia, apoyo, amistad y hacer posible el desarrollo de la presente investigación.

Al señor Mg. César Albino Idrogo Mires, director de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro quien nos brindó todas las facilidades necesarias en cuanto a información y permisos para el ingreso a dicha Institución Educativa.

Al Ing. Javier Colina Bernal por su apoyo y asesoría en los ensayos de estudio de mecánica de suelos realizados para nuestra investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>xix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>23</b>
1.1. Realidad problemática .....	23
1.2. Formulación del problema.....	26
1.3. Justificación.....	26
1.4. Limitaciones .....	27
1.5. Objetivos .....	27
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	27
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	27
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>28</b>
2.1. Antecedentes .....	28
2.2. Bases Teóricas .....	30
2.2.1 <i>Interacción suelo - estructura</i> .....	30
2.2.2. <i>Esquemas de cálculo de edificaciones, considerando la flexibilidad de la base de fundación</i> .....	30
2.2.3. <i>Geotecnia</i> .....	37
2.2.4. <i>Requerimientos mínimos de diseño sismorresistente según la NTP E.030</i> .....	47
2.3. Definición de términos básicos .....	61
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>62</b>
3.1. Formulación de la hipótesis .....	62
3.2. Operacionalización de variables .....	62
<b>CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL .....</b>	<b>63</b>
4.1. Caracterización del edificio.....	63
4.1.1. <i>Módulo “B”</i> .....	63
4.1.2. <i>Módulo “C”</i> .....	63
4.2. Criterios de modelación.....	65
4.2.1. <i>Losa aligerada</i> .....	65
4.2.2. <i>Cálculo del peso de la cobertura por m<sup>2</sup></i> .....	66
4.2.3. <i>Factor “C”</i> .....	66

4.2.4.	<i>Cálculo del espectro de diseño según norma</i> .....	68
4.2.5.	<i>Características de los materiales</i> .....	69
4.3.	Metrado de cargas.....	70
4.3.1.	<i>Módulo “B”</i> .....	70
4.3.2.	<i>Módulo “C”</i> .....	71
4.3.3.	<i>Módulo “C” - SS.HH.</i> .....	73
4.4.	Modelación del edificio empotrado.....	75
4.4.1.	<i>Módulo “B”</i> .....	75
4.4.2.	<i>Módulo “C”</i> .....	86
4.4.3.	<i>Módulo “C” – SS.HH.</i> .....	98
4.5.	Cálculo de rigideces para el modelo dinámico D. D. Barkan – o. A. Savinov.....	100
4.5.1.	<i>Módulo “B”</i> .....	100
4.5.2.	<i>Módulo “C”</i> .....	101
4.5.3.	<i>Módulo “C” – SS.HH.</i> .....	104
4.6.	Cálculo de rigideces para el modelo dinámico de la Norma Rusa.....	105
4.6.1.	<i>Módulo “B”</i> .....	105
4.6.2.	<i>Módulo “C”</i> .....	106
4.6.3.	<i>Módulo “C” – SS.HH.</i> .....	108
4.7.	Modelación del edificio considerando interacción suelo –estructura.....	110
4.7.1.	<i>Módulo “B”</i> .....	110
4.7.2.	<i>Módulo “C”</i> .....	113
<b>CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>116</b>
5.1.	Tipo de diseño de investigación.....	116
5.2.	Material de estudio.....	116
5.2.1.	<i>Unidad de estudio</i> .....	116
5.2.2.	<i>Población</i> .....	116
5.2.3.	<i>Muestra</i> .....	116
5.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	116
5.3.1.	<i>Para recolectar datos</i> .....	116
5.3.2.	<i>Para analizar información</i> .....	117
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....</b>		<b>119</b>
6.1.	Edificio módulo “B” con base empotrada.....	119
6.2.	Edificio módulo “B” con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov).....	124
6.3.	Edificio módulo “B” con base flexible (modelo dinámico Norma Rusa).....	129
6.4.	Edificio módulo “C” con base empotrada.....	134
6.5.	Edificio módulo “C” con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov).....	140
6.6.	Edificio módulo “C” con base flexible (modelo dinámico de la Norma Rusa).....	145
6.7.	SS. HH. del módulo “C” con base empotrada.....	151
6.8.	SS. HH. del módulo “C” con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov).....	157
6.9.	SS. HH. del módulo “C” con base flexible (modelo dinámico de la Norma Rusa).....	162
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....</b>		<b>168</b>
7.1.	Edificio módulo “B”.....	168
7.2.	Edificio módulo “C”.....	171

7.3. Edificio SS. HH. Módulo "C".....	174
<b>INFORME DE LA TESIS: “COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS B Y C DE LA I. E. JULIO RAMÓN RIBEYRO CONSIDERANDO Y SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA” PARA LA I. E. JULIO RAMÓN RIBEYRO.....</b>	<b>177</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>180</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>181</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>182</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>184</b>
ANEXO N°01. PLANOS.....	184
ANEXO N°02. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	185
ANEXO N°03. MODELOS DINÁMICOS.....	194
ANEXO N°04. PANEL FOTOGRÁFICO.....	214

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Tabla N° 1.1. Sismicidad histórica.....	24
Tabla N° 1.2. Evaluación de daños del sector educativo.....	25
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Tabla N° 2.1. Valores para el coeficiente $C_0$ .....	34
Tabla N° 2.2. Valores para el coeficiente $b_0$ .....	36
Tabla N° 2.3. Tipo de edificación para determinar el número de puntos de investigación.....	41
Tabla N° 2.4. Número de puntos de investigación.....	41
Tabla N° 2.5. Clasificaciones granulométricas.....	43
Tabla N° 2.6. Factores de zona.....	48
Tabla N° 2.7. Perfil tipo S3.....	49
Tabla N° 2.8. Parámetros de suelo.....	50
Tabla N° 2.9. Categoría de las edificaciones.....	51
Tabla N° 2.10. Irregularidades estructurales en altura.....	52
Tabla N° 2.11. Irregularidades estructurales en planta.....	52
Tabla N° 2.12. Sistemas estructurales.....	53
Tabla N° 2.13. Categoría y estructura de las edificaciones.....	54
Tabla N° 2.14. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso.....	55
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Tabla N° 3.1. Variable Independiente.....	62
Tabla N° 3.2. Variable Dependiente.....	62
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Tabla N° 4.1. Ambientes y áreas del 1° nivel.....	63
Tabla N° 4.2. Ambientes y áreas del 2° nivel.....	63
Tabla N° 4.3. Ambientes y áreas del 1° nivel.....	63
Tabla N° 4.4. Ambientes y áreas del 2° nivel.....	64
Tabla N° 4.5. Ambientes y áreas del 3° nivel.....	64
Tabla N° 4.6. Datos del fabricante.....	66
Tabla N° 4.7. Parámetros según E.030-2006.....	66
Tabla N° 4.8. Cálculo de datos de espectro de diseño.....	68
Tabla N° 4.9. Cálculo de masas traslacionales.....	100
Tabla N° 4.10. Cálculo de masas rotacionales.....	100
Tabla N° 4.11. Cálculo de presión estática.....	100
Tabla N° 4.12. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	101
Tabla N° 4.13. Cálculo de rigideces.....	101
Tabla N° 4.14. Cálculo de masas traslacionales.....	101
Tabla N° 4.15. Cálculo de masas rotacionales.....	102
Tabla N° 4.16. Cálculo de presión estática.....	102
Tabla N° 4.17. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	103
Tabla N° 4.18. Cálculo de rigideces.....	103
Tabla N° 4.19. Cálculo de masas traslacionales.....	104

Tabla N° 4.20. Cálculo de masas rotacionales.....	104
Tabla N° 4.21. Cálculo de presión estática.....	104
Tabla N° 4.22. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	104
Tabla N° 4.23. Cálculo de rigideces.....	105
Tabla N° 4.24. Cálculo de masas traslacionales.....	105
Tabla N° 4.25. Cálculo de masas rotacionales.....	105
Tabla N° 4.26. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	106
Tabla N° 4.27. Cálculo de rigideces.....	106
Tabla N° 4.28. Cálculo de masas traslacionales.....	106
Tabla N° 4.29. Cálculo de masas rotacionales.....	107
Tabla N° 4.30. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	107
Tabla N° 4.31. Cálculo de rigideces.....	108
Tabla N° 4.32. Cálculo de masas traslacionales.....	108
Tabla N° 4.33. Cálculo de masas rotacionales.....	108
Tabla N° 4.34. Cálculo de coeficientes de rigidez.....	109
Tabla N° 4.35. Cálculo de rigideces.....	109

## CAPÍTULO 6

Tabla N° 6.1. Periodos de la estructura con base empotrada.....	119
Tabla N° 6.2. Modos de vibración de la estructura.....	119
Tabla N° 6.3. Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	121
Tabla N° 6.4. Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	121
Tabla N° 6.5. Derivas de entrepiso - análisis estático.....	122
Tabla N° 6.6. Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	122
Tabla N° 6.7. Masas por piso.....	122
Tabla N° 6.8. Cortantes en la base.....	123
Tabla N° 6.9. Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	123
Tabla N° 6.10. Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	123
Tabla N° 6.11. Fuerzas cortantes - dirección "X".....	123
Tabla N° 6.12. Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	123
Tabla N° 6.13. Fuerzas cortantes - dirección "X".....	124
Tabla N° 6.14. Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	124
Tabla N° 6.15. Periodos de la estructura con base flexible.....	124
Tabla N° 6.16. Modos de vibración de la estructura.....	124
Tabla N° 6.17. Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	126
Tabla N° 6.18. Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	126
Tabla N° 6.19. Derivas de entrepiso - análisis estático.....	127
Tabla N° 6.20. Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	127
Tabla N° 6.21. Masas por piso.....	127
Tabla N° 6.22. Cortantes en la base.....	128
Tabla N° 6.23. Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	128
Tabla N° 6.24. Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	128
Tabla N° 6.25. Fuerzas cortantes - dirección "X".....	128
Tabla N° 6.26. Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	128
Tabla N° 6.27. Fuerzas cortantes - dirección "X".....	129
Tabla N° 6.28. Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	129
Tabla N° 6.29. Periodos de la estructura con base flexible.....	129

<b>Tabla N° 6.30.</b> Modos de vibración de la estructura.....	129
<b>Tabla N° 6.31.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	131
<b>Tabla N° 6.32.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	131
<b>Tabla N° 6.33.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	132
<b>Tabla N° 6.34.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	132
<b>Tabla N° 6.35.</b> Masas por piso.....	132
<b>Tabla N° 6.36.</b> Cortantes en la base.....	133
<b>Tabla N° 6.37.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	133
<b>Tabla N° 6.38.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	133
<b>Tabla N° 6.39.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	133
<b>Tabla N° 6.40.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	133
<b>Tabla N° 6.41.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	134
<b>Tabla N° 6.42.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	134
<b>Tabla N° 6.43.</b> Periodos de la estructura con base empotrada.....	134
<b>Tabla N° 6.44.</b> Modos de vibración de la estructura.....	134
<b>Tabla N° 6.45.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	137
<b>Tabla N° 6.46.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	137
<b>Tabla N° 6.47.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	137
<b>Tabla N° 6.48.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	138
<b>Tabla N° 6.49.</b> Masas por piso.....	138
<b>Tabla N° 6.50.</b> Cortantes en la base.....	138
<b>Tabla N° 6.51.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	139
<b>Tabla N° 6.52.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	139
<b>Tabla N° 6.53.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	139
<b>Tabla N° 6.54.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	139
<b>Tabla N° 6.55.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	139
<b>Tabla N° 6.56.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	140
<b>Tabla N° 6.57.</b> Periodos de la estructura con base flexible.....	140
<b>Tabla N° 6.58.</b> Modos de vibración de la estructura.....	140
<b>Tabla N° 6.59.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	142
<b>Tabla N° 6.60.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	142
<b>Tabla N° 6.61.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	143
<b>Tabla N° 6.62.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	143
<b>Tabla N° 6.63.</b> Masas por piso.....	144
<b>Tabla N° 6.64.</b> Cortantes en la base.....	144
<b>Tabla N° 6.65.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	144
<b>Tabla N° 6.66.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	144
<b>Tabla N° 6.67.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	145
<b>Tabla N° 6.68.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	145
<b>Tabla N° 6.69.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	145
<b>Tabla N° 6.70.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	145
<b>Tabla N° 6.71.</b> Periodos de la estructura con base flexible.....	145
<b>Tabla N° 6.72.</b> Modos de vibración de la estructura.....	146
<b>Tabla N° 6.73.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	148
<b>Tabla N° 6.74.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	148
<b>Tabla N° 6.75.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	149
<b>Tabla N° 6.76.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	149

<b>Tabla N° 6.77.</b> Masas por piso.....	149
<b>Tabla N° 6.78.</b> Cortantes en la base.....	150
<b>Tabla N° 6.79.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	150
<b>Tabla N° 6.80.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	150
<b>Tabla N° 6.81.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	150
<b>Tabla N° 6.82.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	151
<b>Tabla N° 6.83.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	151
<b>Tabla N° 6.84.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	151
<b>Tabla N° 6.85.</b> Periodos de la estructura con base empotrada.....	151
<b>Tabla N° 6.86.</b> Modos de vibración de la estructura.....	152
<b>Tabla N° 6.87.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	154
<b>Tabla N° 6.88.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	154
<b>Tabla N° 6.89.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	154
<b>Tabla N° 6.90.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	155
<b>Tabla N° 6.91.</b> Masas por piso.....	155
<b>Tabla N° 6.92.</b> Cortantes en la base.....	155
<b>Tabla N° 6.93.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	156
<b>Tabla N° 6.94.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	156
<b>Tabla N° 6.95.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	156
<b>Tabla N° 6.96.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	156
<b>Tabla N° 6.97.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	156
<b>Tabla N° 6.98.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	157
<b>Tabla N° 6.99.</b> Periodos de la estructura con base empotrada.....	157
<b>Tabla N° 6.100.</b> Modos de vibración de la estructura.....	157
<b>Tabla N° 6.101.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	159
<b>Tabla N° 6.102.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	159
<b>Tabla N° 6.103.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	160
<b>Tabla N° 6.104.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	160
<b>Tabla N° 6.105.</b> Masas por piso.....	160
<b>Tabla N° 6.106.</b> Cortantes en la base.....	161
<b>Tabla N° 6.107.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	161
<b>Tabla N° 6.108.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	161
<b>Tabla N° 6.109.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	161
<b>Tabla N° 6.110.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	162
<b>Tabla N° 6.111.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	162
<b>Tabla N° 6.112.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	162
<b>Tabla N° 6.113.</b> Periodos de la estructura con base empotrada.....	162
<b>Tabla N° 6.114.</b> Modos de vibración de la estructura.....	163
<b>Tabla N° 6.115.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.....	165
<b>Tabla N° 6.116.</b> Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.....	165
<b>Tabla N° 6.117.</b> Derivas de entrepiso - análisis estático.....	165
<b>Tabla N° 6.118.</b> Derivas de entrepiso - análisis dinámico.....	166
<b>Tabla N° 6.119.</b> Masas por piso.....	166
<b>Tabla N° 6.120.</b> Cortantes en la base.....	166
<b>Tabla N° 6.121.</b> Fuerzas internas máximas - análisis estático.....	166
<b>Tabla N° 6.122.</b> Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.....	167
<b>Tabla N° 6.123.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	167



<b>Tabla N° 6.124.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	167
<b>Tabla N° 6.125.</b> Fuerzas cortantes - dirección "X".....	167
<b>Tabla N° 6.126.</b> Fuerzas cortantes - dirección "Y".....	167
<b>Tabla N° 6.127.</b> Perfil estratigráfico - calicata N° 01.....	186
<b>Tabla N° 6.128.</b> Perfil estratigráfico - calicata N° 02.....	186
<b>Tabla N° 6.129.</b> Análisis granulométrico - calicata N° 01.....	186
<b>Tabla N° 6.130.</b> Análisis granulométrico - calicata N° 02.....	187
<b>Tabla N° 6.131.</b> Contenido de humedad - calicata N° 01.....	188
<b>Tabla N° 6.132.</b> Contenido de humedad - calicata N° 02.....	189
<b>Tabla N° 6.133.</b> Límites de consistencia - calicata N° 01.....	189
<b>Tabla N° 6.134.</b> Límites de consistencia - calicata N° 02.....	190
<b>Tabla N° 6.135.</b> Peso específico - calicata N° 01.....	190
<b>Tabla N° 6.136.</b> Peso específico - calicata N° 02.....	191
<b>Tabla N° 6.137.</b> Resúmenes de resultados de parámetros físicos y mecánicos deducidos para cimentación.....	191
<b>Tabla N° 6.138.</b> Datos para el cálculo de capacidad portante y asentamiento.....	192
<b>Tabla N° 6.139.</b> Datos para el cálculo de capacidad portante y asentamiento.....	192
<b>Tabla N° 6.140.</b> Factores de cargas y forma.....	192
<b>Tabla N° 6.141.</b> Cuadro de capacidad portante.....	192
<b>Tabla N° 6.142.</b> Cuadro de asentamientos inmediatos.....	193
<b>Tabla N° 6.143.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "B".....	198
<b>Tabla N° 6.144.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "B".....	198
<b>Tabla N° 6.145.</b> Cálculo de pesos tributarios del módulo "B".....	198
<b>Tabla N° 6.146.</b> Cálculo de áreas de zapatas del módulo "B".....	199
<b>Tabla N° 6.147.</b> Cálculo de presión estática del módulo "B".....	199
<b>Tabla N° 6.148.</b> Propiedades de las zapatas del módulo "B".....	199
<b>Tabla N° 6.149.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "B".....	200
<b>Tabla N° 6.150.</b> Cálculo de rigideces del módulo "B".....	200
<b>Tabla N° 6.151.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "B".....	201
<b>Tabla N° 6.152.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "B".....	201
<b>Tabla N° 6.153.</b> Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "B".....	201
<b>Tabla N° 6.154.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "B".....	202
<b>Tabla N° 6.155.</b> Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "B".....	202
<b>Tabla N° 6.156.</b> Cálculo de rigideces del módulo "B".....	202
<b>Tabla N° 6.157.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "C".....	203
<b>Tabla N° 6.158.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "C".....	203
<b>Tabla N° 6.159.</b> Cálculo de pesos tributarios del módulo "C".....	204
<b>Tabla N° 6.160.</b> Cálculo de áreas de zapatas del módulo "C".....	204
<b>Tabla N° 6.161.</b> Cálculo de presión estática del módulo "C".....	204
<b>Tabla N° 6.162.</b> Propiedades de las zapatas del módulo "C".....	205
<b>Tabla N° 6.163.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C".....	206
<b>Tabla N° 6.164.</b> Cálculo de rigideces del módulo "C".....	206
<b>Tabla N° 6.165.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "C".....	207
<b>Tabla N° 6.166.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "C".....	207
<b>Tabla N° 6.167.</b> Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "C".....	208
<b>Tabla N° 6.168.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C".....	208
<b>Tabla N° 6.169.</b> Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "C".....	209

<b>Tabla N° 6.170.</b> Cálculo de rigideces del módulo "C" .....	209
<b>Tabla N° 6.171.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "C - SS.HH" .....	210
<b>Tabla N° 6.172.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "C – SS.HH" .....	210
<b>Tabla N° 6.173.</b> Cálculo de pesos tributarios del módulo "C – SS.HH" .....	210
<b>Tabla N° 6.174.</b> Cálculo de áreas de zapatas del módulo "C- SS.HH" .....	210
<b>Tabla N° 6.175.</b> Cálculo de presión estática del módulo "C – SS.HH" .....	211
<b>Tabla N° 6.176.</b> Propiedades de las zapatas del módulo "C – SS.HH" .....	211
<b>Tabla N° 6.177.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C – SS.HH" .....	211
<b>Tabla N° 6.178.</b> Cálculo de rigideces del módulo "C – SS.HH" .....	211
<b>Tabla N° 6.179.</b> Cálculo de masas traslacionales del módulo "C - SS.HH" .....	212
<b>Tabla N° 6.180.</b> Cálculo de masas rotacionales del módulo "C – SS.HH" .....	212
<b>Tabla N° 6.181.</b> Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "C – SS.HH" .....	212
<b>Tabla N° 6.182.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C - SS.HH" .....	213
<b>Tabla N° 6.183.</b> Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "C – SS-HH" .....	213
<b>Tabla N° 6.184.</b> Cálculo de rigideces del módulo "C – SS.HH" .....	213

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Figura N° 1.1. Mapa de zonificación sísmica.....	23
Figura N° 1.2. Mapa geológico Cajamarca.....	25
Figura N° 1.3. Croquis de ubicación de la I.E Julio Ramón Ribeyro.....	26
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Figura N° 2.1. Esquema espacial de cálculo de la cimentación tipo zapata aislada.....	32
Figura N° 2.2. Grados de libertad de la cimentación.....	35
Figura N° 2.3. Análisis granulométrico por tamizado.....	44
Figura N° 2.4. Límites de Atterberg.....	45
Figura N° 2.5. Copa de Casagrande.....	45
Figura N° 2.6. Límite plástico.....	46
Figura N° 2.7. Mapa de zonificación sísmica.....	48
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Figura N° 4.1. Losa aligerada en 1 dirección.....	65
Figura N° 4.2. Losa aligerada en 1 dirección.....	65
Figura N° 4.3. Espectro de diseño.....	69
Figura N° 4.4. Edición de ejes en la dirección "X" e "Y".....	75
Figura N° 4.5. Edición de pisos.....	75
Figura N° 4.6. Definición de las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	76
Figura N° 4.7. Definición de las propiedades del acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .....	76
Figura N° 4.8. Definición de columnas.....	77
Figura N° 4.9. Definición de vigas.....	77
Figura N° 4.10. Definición de vigas de sección variable.....	78
Figura N° 4.11. Definición de losa aligerada.....	78
Figura N° 4.12. Vista en planta de modelo final.....	79
Figura N° 4.13. Vista en 3D del edificio con base empotrada.....	79
Figura N° 4.14. Definición de patrones de carga.....	80
Figura N° 4.15. Asignación de cargas a las vigas.....	80
Figura N° 4.16. Asignación de cargas sobre las losas de entrecimso.....	81
Figura N° 4.17. Definición de peso sísmico de la estructura.....	81
Figura N° 4.18. Definición de diafragmas rígidos.....	82
Figura N° 4.19. Asignación de diafragmas rígidos.....	82
Figura N° 4.20. Asignación de brazos rígidos.....	83
Figura N° 4.21. Asignación de automesh (división interna de elementos estructurales).....	83
Figura N° 4.22. Definición de fuerzas sísmicas estáticas.....	84
Figura N° 4.23. Definición de espectro de diseño.....	84
Figura N° 4.24. Definición de fuerzas sísmicas dinámicas.....	85
Figura N° 4.25. Configuración de los modos de vibración.....	85
Figura N° 4.26. Desplazamiento de la estructura por sismo estático en "X".....	86
Figura N° 4.27. Edición de ejes en la dirección "X" e "Y".....	86
Figura N° 4.28. Edición de pisos.....	87
Figura N° 4.29. Definición de las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	87

Figura N° 4.30. Definición de las propiedades del acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
Figura N° 4.31. Definición de columnas.....	88
Figura N° 4.32. Definición de vigas.....	89
Figura N° 4.33. Definición de vigas de sección variable.....	89
Figura N° 4.34. Definición de losa aligerada.....	90
Figura N° 4.35. Vista en planta de modelo final.....	90
Figura N° 4.36. Vista en 3D del edificio con base empotrada.....	91
Figura N° 4.37. Definición de patrones de carga.....	91
Figura N° 4.38. Asignación de cargas a las vigas.....	92
Figura N° 4.39. Asignación de cargas sobre las losas de entrespiso.....	92
Figura N° 4.40. Definición de peso sísmico de la estructura.....	93
Figura N° 4.41. Definición de diafragmas rígidos.....	93
Figura N° 4.42. Asignación de diafragmas rígidos.....	94
Figura N° 4.43. Asignación de brazos rígidos.....	94
Figura N° 4.44. Asignación de automesh (división interna de elementos estructurales).....	95
Figura N° 4.45. Definición de fuerzas sísmicas estáticas.....	95
Figura N° 4.46. Definición de espectro de diseño.....	96
Figura N° 4.47. Definición de fuerzas sísmicas dinámicas.....	96
Figura N° 4.48. Configuración de los modos de vibración.....	97
Figura N° 4.49. Desplazamiento de la estructura por sismo estático en "X".....	97
Figura N° 4.50. Edición de ejes en la dirección "X" e "Y".....	98
Figura N° 4.51. Edición de pisos.....	98
Figura N° 4.52. Definición de las propiedades del concreto $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
Figura N° 4.53. Definición de las propiedades del acero de refuerzo $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ .....	99
Figura N° 4.54. Definición de material rígido.....	110
Figura N° 4.55. Definición de sección de zapata rígida.....	110
Figura N° 4.56. Dibujo de zapatas en la base.....	111
Figura N° 4.57. Asignación de masas en zapatas.....	111
Figura N° 4.58. Asignación de coeficientes de rigidez en zapatas.....	112
Figura N° 4.59. Vista 3D del edificio con base flexible.....	112
Figura N° 4.60. Definición de material rígido.....	113
Figura N° 4.61. Definición de sección de zapata rígida.....	113
Figura N° 4.62. Dibujo de zapatas en la base.....	114
Figura N° 4.63. Asignación de masas en zapatas.....	114
Figura N° 4.64. Asignación de coeficientes de rigidez en zapatas.....	115
Figura N° 4.65. Vista 3D del edificio con base flexible.....	115

## CAPÍTULO 5

Figura N° 5.1. Procedimiento para el desarrollo de la investigación.....	117
Figura N° 5.2. Procedimiento para la comparación de la respuesta estructural.....	118

## CAPÍTULO 6

Figura N° 6.1. Primer modo de vibración.....	120
Figura N° 6.2. Segundo modo de vibración.....	120
Figura N° 6.3. Tercer modo de vibración.....	121
Figura N° 6.4. Primer modo de vibración.....	125
Figura N° 6.5. Segundo modo de vibración.....	125

Figura N° 6.6. Tercer modo de vibración.....	126
Figura N° 6.7. Primer modo de vibración.....	130
Figura N° 6.8. Segundo modo de vibración.....	130
Figura N° 6.9. Tercer modo de vibración.....	131
Figura N° 6.10. Primer modo de vibración.....	135
Figura N° 6.11. Segundo modo de vibración.....	136
Figura N° 6.12. Tercer modo de vibración.....	136
Figura N° 6.13. Primer modo de vibración.....	141
Figura N° 6.14. Segundo modo de vibración.....	141
Figura N° 6.15. Tercer modo de vibración.....	142
Figura N° 6.16. Primer modo de vibración.....	147
Figura N° 6.17. Segundo modo de vibración.....	147
Figura N° 6.18. Tercer modo de vibración.....	148
Figura N° 6.19. Primer modo de vibración.....	152
Figura N° 6.20. Segundo modo de vibración.....	153
Figura N° 6.21. Tercer modo de vibración.....	153
Figura N° 6.22. Primer modo de vibración.....	158
Figura N° 6.23. Segundo modo de vibración.....	158
Figura N° 6.24. Tercer modo de vibración.....	159
Figura N° 6.25. Primer modo de vibración.....	163
Figura N° 6.26. Segundo modo de vibración.....	164
Figura N° 6.27. Tercer modo de vibración.....	164

## CAPÍTULO 7

Figura N° 7.1. Periodos fundamentales de vibración del edificio módulo "B".....	168
Figura N° 7.2. Derivas máximas - dirección "X".....	169
Figura N° 7.3. Fuerzas internas máximas - dirección "X".....	170
Figura N° 7.4. Fuerzas internas máximas - dirección "Y".....	170
Figura N° 7.5. Periodos fundamentales de vibración del edificio módulo "C".....	171
Figura N° 7.6. Derivas máximas - dirección "X".....	172
Figura N° 7.8. Fuerzas internas máximas - dirección "X".....	173
Figura N° 7.9. Fuerzas internas máximas - dirección "Y".....	173
Figura N° 7.10. Periodos fundamentales de vibración del edificio SS. HH. Módulo "C".....	174
Figura N° 7.11. Derivas máximas - dirección "X".....	175
Figura N° 7.12. Fuerzas internas máximas - dirección "X".....	176
Figura N° 7.13. Fuerzas internas máximas - dirección "Y".....	176
Figura N° 7.14. Curva granulométrica - calicata N° 01.....	187
Figura N° 7.15. Curva granulométrica - calicata N° 02.....	188
Figura N° 7.16. Límites de consistencia - calicata N° 01.....	189
Figura N° 7.17. Límites de consistencia - calicata N° 02.....	190
Figura N° 7.18. Dimensiones de zapata para el cálculo de rigideces.....	195
Figura N° 7.19. Calicata N°01, ubicada a un costado del módulo "B" de dos niveles.....	215
Figura N° 7.20. Calicata N°01, profundidad 3.00m.....	215
Figura N° 7.21. Calicata N°02, ubicada a un costado del módulo "C" de tres niveles.....	216
Figura N° 7.22. Calicata N°02, profundidad 3.00m.....	216
Figura N° 7.23. Análisis granulométrico.....	217
Figura N° 7.24. Análisis granulométrico.....	217

<b>Figura N° 7.25.</b> Contenido de humedad.....	218
<b>Figura N° 7.26.</b> Contenido de humedad.....	218
<b>Figura N° 7.27.</b> Límite líquido.....	219
<b>Figura N° 7.28.</b> Límite líquido.....	219
<b>Figura N° 7.29.</b> Croquis de las calicatas.....	220
<b>Figura N° 7.30.</b> Módulo “B”.....	220
<b>Figura N° 7.31.</b> Módulo “C”.....	221
<b>Figura N° 7.32.</b> Módulo “C”.....	221

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Ecuación 2.1.</b> Cálculo de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	22
<b>Ecuación 2.2.</b> Cálculo de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	33
<b>Ecuación 2.3.</b> Cálculo de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	33
<b>Ecuación 2.4.</b> Cálculo de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	33
<b>Ecuación 2.5.</b> Cálculo de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	33
<b>Ecuación 2.6.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez D.D.Barkan-O.A.Savinov.....	33
<b>Ecuación 2.7.</b> Cálculo de coeficientes de balasto.....	34
<b>Ecuación 2.8.</b> Cálculo del coeficiente $D_0$ .....	34
<b>Ecuación 2.9.</b> Cálculo del coeficiente $D_0$ .....	34
<b>Ecuación 2.10.</b> Cálculo de presión estática.....	35
<b>Ecuación 2.11.</b> Cálculo de rigidez norma Rusa.....	35
<b>Ecuación 2.12.</b> Cálculo de rigidez norma Rusa.....	35
<b>Ecuación 2.13.</b> Cálculo de rigidez norma Rusa.....	35
<b>Ecuación 2.14.</b> Cálculo de rigidez norma Rusa.....	35
<b>Ecuación 2.15.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez norma Rusa.....	36
<b>Ecuación 2.16.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez norma Rusa.....	36
<b>Ecuación 2.17.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez norma Rusa.....	36
<b>Ecuación 2.18.</b> Cálculo de coeficientes de rigidez norma Rusa.....	37
<b>Ecuación 2.19.</b> Profundidad "p" mínima a alcanzar en cada punto de investigación.....	41
<b>Ecuación 2.20.</b> Cálculo de contenido de humedad.....	46
<b>Ecuación 2.21.</b> Cálculo de peso específico.....	46
<b>Ecuación 2.22.</b> Cálculo de peso específico de material fino.....	47
<b>Ecuación 2.23.</b> Factor de amplificación sísmica.....	50
<b>Ecuación 2.24.</b> Junta de separación sísmica.....	55
<b>Ecuación 2.25.</b> Periodo fundamental.....	57
<b>Ecuación 2.26.</b> Periodo fundamental.....	57
<b>Ecuación 2.27.</b> Fuerza cortante en la base.....	57
<b>Ecuación 2.28.</b> Fuerza cortante en la base.....	57
<b>Ecuación 2.29.</b> Distribución de la fuerza sísmica en altura.....	58
<b>Ecuación 2.30.</b> Distribución de la fuerza sísmica en altura.....	58
<b>Ecuación 2.31.</b> Momento accidental.....	58
<b>Ecuación 2.32.</b> Aceleración espectral.....	59
<b>Ecuación 2.33.</b> Criterios de combinación.....	59
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>Ecuación 4.1.</b> Volumen de concreto por $m^2$ .....	65
<b>Ecuación 4.2.</b> Factor de amplificación sísmica.....	67
<b>Ecuación 4.3.</b> Relación entre el factor de amplificación sísmica y el coeficiente de reducción.....	67
<b>Ecuación 4.4.</b> Fuerza cortante total en la base de la estructura.....	68
<b>Ecuación 4.5.</b> Factor de "C" de la fuerza sísmica.....	68
<b>Ecuación 4.6.</b> Masas traslacionales.....	195
<b>Ecuación 4.7.</b> Masas rotacionales en "X".....	195
<b>Ecuación 4.8.</b> Masas rotacionales en "Y".....	195



<b>Ecuación 4.9.</b> Masas rotacionales en "Z".....	195
<b>Ecuación 4.10.</b> Presión estática ( $\rho$ ).....	195
<b>Ecuación 4.11.</b> Coeficiente Do.....	196
<b>Ecuación 4.12.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	196
<b>Ecuación 4.13.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	196
<b>Ecuación 4.14.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	196
<b>Ecuación 4.15.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	196
<b>Ecuación 4.16.</b> Rigideces (K).....	196
<b>Ecuación 4.17.</b> Rigideces (K).....	196
<b>Ecuación 4.18.</b> Rigideces (K).....	196
<b>Ecuación 4.19.</b> Rigideces (K).....	196
<b>Ecuación 4.20.</b> Rigideces (K).....	196
<b>Ecuación 4.21.</b> Coeficiente de compresión elástico (Cz).....	197
<b>Ecuación 4.22.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	197
<b>Ecuación 4.23.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	197
<b>Ecuación 4.24.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	197
<b>Ecuación 4.25.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	197
<b>Ecuación 4.26.</b> Coeficientes de rigidez (C).....	197
<b>Ecuación 4.27.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.28.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.29.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.30.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.31.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.32.</b> Rigideces (K).....	197
<b>Ecuación 4.33.</b> Rigideces (K).....	197



## RESUMEN

En Cajamarca la interacción suelo – estructura no es tomada en cuenta en el análisis y diseño de edificaciones debido a que no está considerada en la normativa peruana, además de contar con poca información sobre el tema; sin embargo es importante el estudio de este efecto porque las estructuras no deberían aislarse de su base de fundación debido a que el suelo ayuda a disipar la energía liberada por los sismos. Es por esto que la presente investigación está enfocada en un estudio comparativo de la respuesta estructural de los edificios módulo “B” y módulo “C” de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo – estructura. Para el desarrollo de la investigación se han considerado dos modelos dinámicos, el modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov y el modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87. Los dos modelos dinámicos que se desarrollan en la presente investigación corresponden a las diversas investigaciones publicadas por el Ph. D. Genner Villarreal Castro, donde se refleja su arduo trabajo y gran aporte científico al campo de la ingeniería sísmica. Así mismo, las dos edificaciones que se estudiaron son de la categoría esencial (NTP E.030, 2006), además el sistema estructural que presentan son de pórticos de concreto armado y la cimentación es de zapatas conectadas. El modelamiento de ambos edificios fue realizado en el programa ETABS en su versión 2015 teniendo en consideración los requerimientos dados en el Reglamento Nacional de Edificaciones. En primera instancia se realizó el análisis sísmico (análisis estático y dinámico espectral) en ambas edificaciones considerando bases empotradas; de dicho análisis se tuvo como resultados periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas. Del análisis sísmico de los edificios con base empotrada se obtuvieron derivas máximas de 2.15% para el módulo “B” y de 2.43% para el módulo “C”, dichas derivas no cumplieron con lo establecido en la norma sismorresistente E.030 siendo éstos edificios muy flexibles lateralmente. Con los datos obtenidos del estudio de mecánica de suelos (módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y coeficiente de balasto), se calcularon los coeficientes de rigidez para los modelos dinámicos de D. D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87. Luego se procedió al análisis de los edificios considerando la base flexible por ambos modelos dinámicos estudiados; obteniendo como resultados periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas. Cabe indicar que no hay mayor variación entre los resultados obtenidos con cada uno de los modelos dinámicos. Finalmente los resultados obtenidos del análisis de los edificios con base empotrada se compararon con los resultados obtenidos del análisis de los edificios con base flexible, obteniendo como resultado final que el efecto de interacción suelo – estructura produce que los edificios presenten mejor respuesta estructural siempre y cuando los edificios cumplan con los requerimientos mínimos dados en el artículo 15.1 de la norma sismorresistente E.030.

## ABSTRACT

In Cajamarca the interaction soil - structure is not taken into account in the analysis and design of buildings because it is not considered in the Peruvian legislation, in addition to little information on the subject; however it is important to study this effect because the structures should not be isolated from its base foundation because the soil helps to dissipate the energy released by earthquakes. That is why this research is focused on a comparative study of the structural response of the module buildings "B" and "C" block of School Julio Ramon Ribeyro considering and not considering the interaction soil - structure. For the development of the research they were considered two dynamic models, the dynamic model of DD Barkan - OA Savinov and the dynamic model of the Russian standard SNIP 2.02.05-87. The two dynamic models developed in this research correspond to various research published by the Ph. D. Castro Villarreal Genner, which reflects their hard work and great scientific contribution to the field of earthquake engineering. Likewise, the two buildings that were studied are the essential category (E.030 NTP, 2006), also having the structural system are reinforced concrete frames and foundation footings is connected. The modeling of both buildings was carried out in the ETABS program in its version 2015, taking into consideration the requirements given in the National Building Regulations. First the seismic analysis (static analysis and dynamic spectral) was performed in both buildings considering recessed base; analysis of the results was taken as periods of vibration, drifts mezzanine and maximum internal forces. Seismic analysis of buildings with ground-based maximum drift of 2.15% for the module "B" and 2.43% for "C" module, these drifts not comply with the provisions of the seismic standard E.030 being these buildings were obtained very flexible laterally. OA Savinov and the Russian standard SNIP 2.02.05-87 - With the data obtained from the study of soil mechanics (elasticity modulus, Poisson's ratio and coefficient of ballast), the stiffness coefficients for dynamic models were calculated DD Barkan. Then he proceeded to the analysis of flexible base buildings considering both studied dynamic models; obtaining as a result of vibration periods, drifts mezzanine and maximum internal forces. It should be noted that there is more variation between the results obtained with each of the dynamic models. Finally the results of the analysis of ground based buildings were compared with the results obtained from analysis of buildings flexible base, obtaining the final result that the interaction effect soil - the buildings structure produces better structural always present and when response buildings meet the minimum requirements given in Article 15.1 of the seismic standard E.030.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El territorio peruano está situado sobre el cinturón de fuego circumpacífico, que es donde ocurre más del 80% de los sismos que afectan al planeta. Los sismos en el área noroeste del Perú, presentan el mismo patrón de distribución espacial que el resto del país, es decir que la mayor actividad se localiza en el Océano Pacífico, prácticamente al borde de la línea de la costa. (INDECI, 2003)

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica para el territorio peruano, según la Norma Técnica Peruana de diseño sismorresistente E.030, la ciudad de Cajamarca está ubicada dentro de la zona sísmica 3. (Ver figura 1.1).

Figura N° 1.1. Mapa de zonificación sísmica.



Fuente: NTP E.030, 2006.

Según la figura N° 1.1, la región Cajamarca es considerada como una zona de alto riesgo sísmico donde los sismos pueden presentarse con gran magnitud debido a que hay un silencio sísmico de 60 años aproximadamente según lo mostrado en la tabla N° 1.1.

**Tabla N° 1.1.** Sismicidad histórica.

AÑO	MES	INTENSIDAD	EPICENTRO
1606	MARZO 23	-----	LAMBAYEQUE (Zaña)
1614	FEBRERO 14	VIII	TRUJILLO
1725	ENERO 6	-----	TRUJILLO
1759	SETIEMBRE 02	VI	LAMBAYEQUE
1814	FEBRERO 10	VII	PIURA
1857	AGOSTO 20	-----	PIURA
1877	NOVIEMBRE 26		CAHCHAPOYAS
1906	SETIEMBRE 28	VI - VII	NORESTE DEL PERÚ (Trujillo - Cajamarca)
1907	JUNIO 20	IV	NORESTE DEL PERÚ
1912	JULIO 24	IX - X	PIURA
1917	MAYO 20	VI	TRUJILLO
1928	MAYO 14	X	CHACHAPOYAS
1937	JUNIO 21	VII	NORESTE DEL PERÚ
1951	MAYO 08	IV	NORESTE DEL PERÚ
1953	DICIEMBRE 12	VII - VIII	NORESTE DEL PERÚ - SUR ECUADOR
1955	MARZO 09	-----	CAJAMARCA (San Ignacio)
1955	MAYO 03	V	CHIMBOTE
1957	AGOSTO 08	V - VI	NORESTE DEL PERÚ
1960	NOVIEMBRE 30	-----	NORESTE DEL PERÚ
1963	AGOSTO 30	VIII	NORESTE DEL PERÚ
1969	FEBRERO 03	VII	NORESTE DEL PERÚ
1970	DICIEMBRE 09	VII	NORESTE DEL PERÚ
1971	JULIO 10	-----	SULLANA

**Fuente:** INDECI, 2004.

Así mismo se puede acotar que, toda actividad sísmica origina pérdida de vidas y daños a las edificaciones ya sean viviendas, centros educativos, hospitales, entre otros; siendo la infraestructura educativa uno de los factores más importantes para el desarrollo de un país, es por esto que su análisis y diseño debe considerarse como un factor principal al momento de plantear la construcción de este tipo de edificaciones; para así tener un buen comportamiento sísmico ante la ocurrencia de un evento natural.

Según INDECI, 2007, informa que el terremoto registrado en la ciudad de Pisco en el año 2007, originó daños a varios de los centros educativos existentes de la ciudad los cuales tuvieron que paralizar sus actividades ya que muchos de ellos sufrieron daños considerables. El Ministerio de Educación, a través de la oficina de infraestructura educativa - OINFE, se trasladó a la zona del desastre para realizar la evaluación de daños a los locales educativos. En tabla N° 1.2 se muestra la evaluación de daños del sector educación en las regiones Ica, Lima, Ayacucho y Huancavelica.

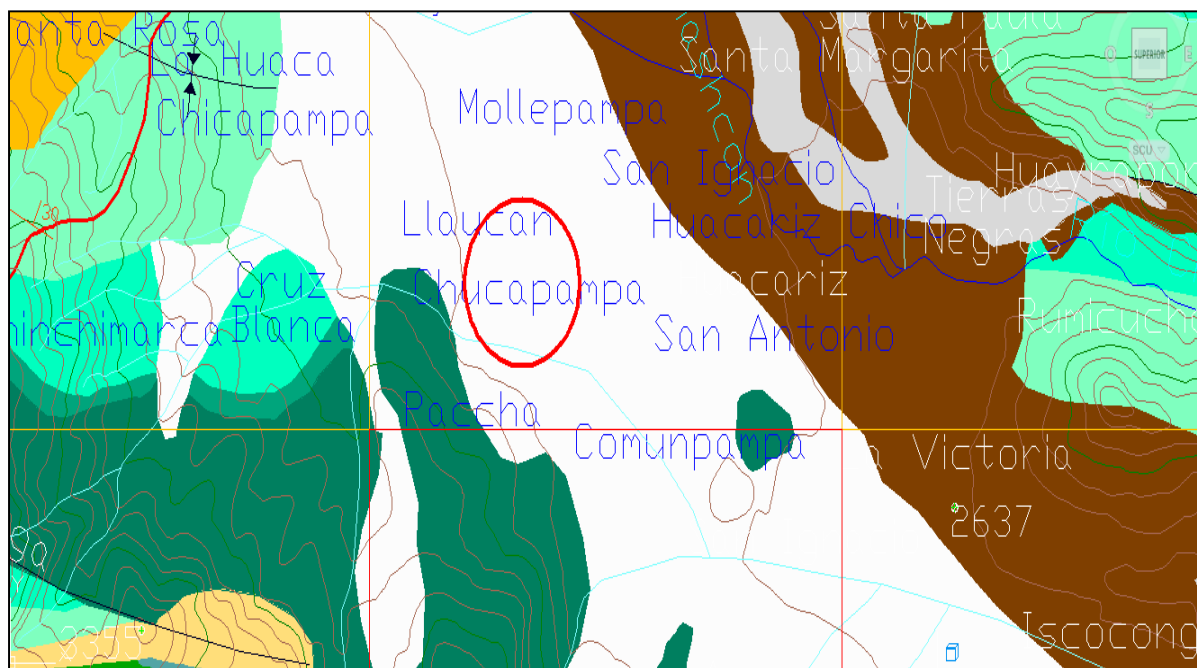
**Tabla N° 1.2.** Evaluación de daños del Sector Educativo.

Regiones	Aulas sin daño estructural o daño leve	Daños moderados de aulas	Daños graves de aulas	Muros de cerco con daño estructural	Otros ambientes con daños
Huancavelica	110	106	24	953	95
Lima	536	174	355	3302	214
Ica	1705	205	214	5690	84
Ayacucho	226	10	29	4	14
<b>Total</b>	<b>2577</b>	<b>495</b>	<b>622</b>	<b>9949</b>	<b>407</b>

Fuente: INDECI, 2007.

En la región Cajamarca y su entorno inmediato, se distinguen tres grandes bloques litológicos: rocas volcánicas de terciario, rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios; según el plano geológico de Cajamarca la zona en estudio pertenece a los depósitos cuaternarios específicamente a la formación cuaternaria aluvial. (Ver figura N° 1.2)

**Figura N° 1.2.** Mapa Geológico Cajamarca.



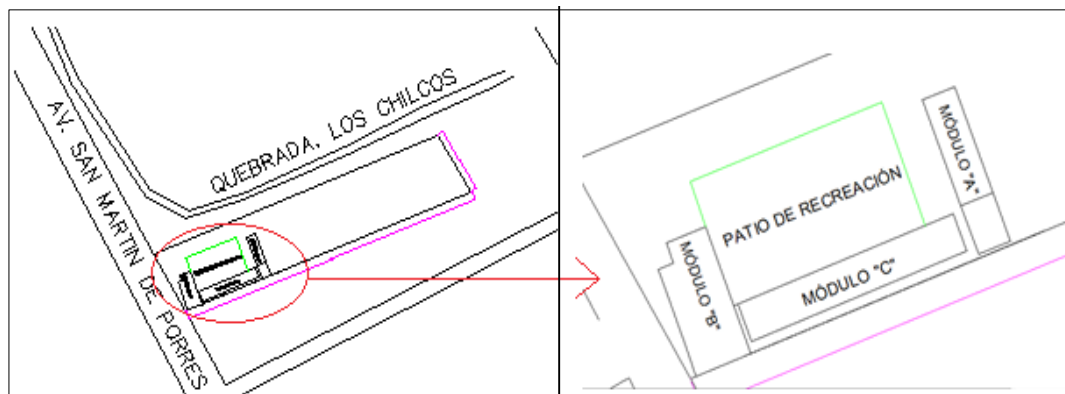
Fuente: INGEMMET, 2005.

En la figura N° 1.2 el área encerrada por la circunferencia roja pertenece a nuestra área de influencia la cual según el mapa geológico del INGEMMET pertenece a la formación cuaternaria aluvial la cual se caracteriza por ser un material aluvial reciente poco maduro, consiste en limo, arena, arcilla y grava, además de mucha materia orgánica.

Según el Mg. César Albino Idrogo Mires, director de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro ubicado en el Centro Poblado Menor La Paccha, sostiene que dicha institución solo cuenta con nivel secundario con un total de 428 alumnos entre varones y mujeres para el presente año escolar y tiene una antigüedad de 10 años; su infraestructura consta

de 3 módulos (Ver figura N° 1.3), los cuales fueron construidos en dos etapas, en la primera etapa se construyeron los módulos A y C; pero cabe resaltar que del módulo C (módulo de tres pisos) solo se construyó el primer nivel dejándose inconcluso los pisos restantes, en la segunda etapa del proyecto se contempló la construcción de los dos pisos faltantes del módulo C y el tercer módulo B, en esta segunda etapa se consideró en el expediente técnico los estudios respectivos de análisis de suelos y análisis sísmico para su diseño, de la primera etapa anteriormente mencionada no se cuenta con registros de sus diseños solo se cuenta con planos.

**Figura N° 1.3.** Croquis de ubicación de la I.E Julio Ramón Ribeyro.



**Fuente:** Elaboración propia, 2005.

En el proceso de diseño de los módulos “B” y “C” de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro se asume que se consideró un empotramiento perfecto ya que las Normas Técnicas Peruanas aún no mencionan un diseño sísmico considerando la Interacción Suelo – Estructura; además según la revisión realizada al expediente técnico se puede notar que el análisis estructural de los módulos “B” y “C” fue realizada con el reglamento nacional de construcciones del 2003, esto se puede evidenciar en la geometría de las columnas en los planos estructurales.

Por tal motivo en el análisis y diseño de los módulos “B” y “C” de la Institución Educativa anteriormente mencionada, debe considerarse la flexibilidad y las propiedades inerciales de los suelos en contacto con la edificación que viene a ser el análisis interacción suelo - estructura para conocer el comportamiento real de la estructura.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la mejor respuesta estructural de los módulos “B” y “C” de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando o sin considerar la interacción suelo-estructura?

## 1.3. Justificación

Se justifica el presente trabajo de investigación debido a la necesidad de evaluar la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de edificios ante la acción sísmica, ya que el efecto de esta interacción influirá directamente en la respuesta estructural de éstos.

Para esto se planteó analizar la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro porque es una edificación del tipo esencial albergando muchas vidas humanas y el colapso de la misma ante un sismo podría ser una tragedia que no queremos lamentar; es por esto que se desea conocer la respuesta estructural de los 2 módulos antes mencionados considerando el efecto de interacción suelo – estructura.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende dar mayor importancia al efecto de interacción suelo – estructura en el análisis y diseño de futuros edificios de tal manera que sean más seguros ante eventos sísmicos. Así como también sugerir que se considere este efecto de interacción en la normativa peruana.

Así mismo, se justifica académicamente, porque para el desarrollo de la investigación se muestran los procedimientos y metodologías de un diseño sismorresistente (análisis estático y análisis dinámico espectral) según condiciones mínimas dadas por la normativa peruana, así como también el cálculo de los coeficientes de rigidez con los modelos dinámicos de Barkan – Savinov y la Norma Rusa; además se dan las configuraciones básicas para el modelamiento de los edificios en el programa ETABS en su versión 2015.

#### **1.4. Limitaciones**

La principal limitación que se tiene para el desarrollo de la presente investigación es que el efecto de interacción suelo – estructura no se considera en la normativa peruana; además de contar con poca información sobre el tema. A pesar de estas limitaciones se pudo realizar el estudio planteado ya que existen investigaciones realizadas por el Dr. Genner Villarreal Castro sobre interacción suelo – estructura.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Comparar la respuesta estructural de los módulos “B” y “C” de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el análisis sísmico de los módulos B y C de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando empotramiento en la base.
- Realizar el análisis sísmico de los módulos B y C de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando la base flexible con el modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov.
- Realizar el análisis sísmico de los módulos B y C de la I.E. Julio Ramón Ribeyro considerando la base flexible con el modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87.
- Realizar el procedimiento de cálculo de rigideces para los modelos dinámicos de D.D. Barkan - O.A. Savinov y la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87.



## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

En los últimos años el problema de interacción suelo-estructura en edificaciones está siendo estudiada con mayor detenimiento e importancia debido a la gran influencia que tiene en el análisis y diseño de estructuras. A continuación se mencionan estudios realizados sobre el tema a tratar.

Los Bachilleres Jesús Mendoza y Huber Rodas, 2015, de la Universidad Nacional del Santa, en su tesis profesional “Análisis de interacción suelo-estructura de centros educativos con zapatas corridas en la Urb. Nicolás Garatea-Nuevo Chimbote” afirman que en el análisis de interacción suelo-estructura, la rigidez del suelo de fundación absorbe parte de la energía liberada por el sismo, también afirman que los modelos con un coeficiente de rigidez mayor absorben una cantidad mayor de energía de sismo. Así mismo al considerar la Interacción suelo-estructura, los desplazamientos de entrepiso incrementan en promedio un 22%, en las columnas los esfuerzos disminuyen un 3.6% para sismo en dirección X y un 12.5% para el caso de sismo en dirección Y; por otro lado, en las vigas, si bien es cierto que los esfuerzos tienden a disminuir, el esfuerzo de diseño aumenta un 15%.

El bachiller Luis Zavaleta, 2009, de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, en su tesis profesional “Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Trujillo”, afirma que al considerar la flexibilidad de la base de fundación tanto para el caso de muros de ductilidad limitada (MDL) como para el de albañilería confinada (AC), se puede notar disminución de las fuerzas actuantes, lo cual es un claro indicativo de que el suelo de fundación absorbe parte de los esfuerzos en los elementos estructurales; los resultados de cálculo obtenidos, permite indicar que el mayor efecto de flexibilidad de la base de fundación tanto para el sistema de AC como para el de MDL se da en el modelo dinámico de la norma Rusa, siendo el modelo dinámico de D.D. Barkan O.A. Savinov el que presenta un comportamiento intermedio entre los modelos convencional y de la norma Rusa respectivamente, razón por la cual fue elegido para realizar el diseño estructural de la edificación.

Los ingenieros Daniel Silva y Gustavo Ipanaqué, 2009, de la Universidad Nacional de Piura, en su tesis de maestría “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones aporticadas” concluyen que el efecto de interacción suelo-estructura es muy notorio en el cálculo de edificaciones, porque influye en la determinación de los modos de vibración libre, así como en la distribución de los esfuerzos en el edificio y cimentación, debido a la flexibilidad del apoyo, por lo tanto hay un flujo de energía desde el suelo a la estructura y viceversa,



cambiando las fuerzas internas en los diferentes elementos estructurales; los modelos dinámicos utilizados en esta tesis fueron el modelo de *WINKLER – COEFICIENTE DE BALASTO*, *modelo de D.D BARKAN – O.A SAVINOV*, *modelo de V.A ILICHEV*, *modelo de A.E SARGSIAN* y el modelo de *NORMA RUSA SNIP 2.02.05.87*; *teniéndose como resultado que el mayor efecto de flexibilidad de la base de fundación se da en el modelo dinámico de SARGSIAN y el menor efecto en el modelo dinámico de la norma Rusa.*

Los ingenieros Marco Cerna y César Espinoza, 2008, de la Universidad Privada Antenor Orrego, en su tesis de maestría “Interacción suelo-estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación” afirman que la interacción suelo-estructura nos permite realizar un estudio más preciso del comportamiento del suelo de fundación con la edificación frente a eventos sísmicos reales, demostrando que el suelo permite una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos estructurales de la edificación, y la disipación de cierto porcentaje de energía inducida por un sismo. Además el modelo considerando interacción suelo-estructura en comparación con un modelo empotrado permite que el periodo de vibración tenga un incremento de hasta 24.67% en el primera forma de vibración, los desplazamientos laterales máximos de entrepiso aumenten un 35% cumpliendo con la norma de diseño sismorresistente E.030, las fuerzas axiales máximas disminuyen en un 46%, las fuerzas cortantes máximas disminuyen en un 42% y el momento flector disminuye en un 34%.

Los ingenieros William Galicia y Javier León, 2007, de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, en su tesis de maestría “Interacción suelo-estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación”, concluyen que con ayuda de los modelos dinámicos de interacción suelo – estructura nos muestra que la flexibilidad de la base de fundación influye directamente en la determinación de los parámetros de cálculo. Este modelo en comparación con un modelo empotrado permite que los desplazamientos laterales máximos de entrepisos aumenten un 40%, estos desplazamientos cumplen con los límites para desplazamiento lateral de entrepisos permitidos para un edificio de albañilería según La Norma Peruana E030, las fuerzas axiales máximas disminuyen en un 25%, las fuerzas cortantes máximas disminuyen en un 23%, el momento flector disminuye en un 25% y las fuerzas cortantes en la base de la estructura aumenten en un 25%. Esta fuerza cortante supera el 90% del cortante estático obtenido del análisis; por otro lado si el análisis hubiera sido por el modelo empotrado, la fuerza cortante en la base de la estructura se encontraría por abajo del 90% del cortante estático, en este caso se tendrían que amplificar las fuerzas internas para su diseño.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Interacción suelo-estructura

#### 2.2.1.1. Definición

La respuesta sísmica de la estructura está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del terreno afectan la estructura a través de su cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. El hecho de que no se tome en cuenta la rigidez de la cimentación y las características dinámicas del suelo subyacente en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la respuesta real de la estructura. Por las razones anotadas es conveniente incluir los efectos de la Interacción Suelo-Estructura en el análisis sísmico de la edificación. (NTC - NSR, 2010).

#### 2.2.1.2. Efectos asociados con la interacción suelo-estructura

Según la norma técnica colombiana NSR, 2010, asegura que dependiendo de las características de la estructura, de su cimentación y del suelo subyacente, la respuesta de la estructura ante solicitaciones estáticas verticales y dinámicas (sismo) puede variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura en los siguientes aspectos:

- Variaciones en los periodos de la edificación.
- Aumento de los desplazamientos laterales de la estructura ante solicitaciones sísmicas.
- Variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica, especialmente cuando se combinan elementos con rigideces y sistemas de apoyo en la cimentación diferentes, como puede ser el caso de combinación de pórticos y muros estructurales.

### 2.2.2. Esquemas de cálculo de edificaciones, considerando la flexibilidad de la base de fundación

#### 2.2.2.1. Introducción

En los últimos tiempos se está dando bastante importancia al problema de interacción suelo estructura. En un sentido más generalizado, este problema puede ser formulado como un contacto dinámico entre la base y la estructura.

Cabe indicar que en la actualidad este problema aún está lejos de su verdadera formulación ya que su modelo matemático correcto tiene un sin número de espectros de solución que merecen un trabajo científico serio. La formulación tradicional del cálculo de edificaciones, considerando el empotramiento perfecto de las columnas con las cimentaciones, nos lleva a la necesidad de una descripción más detallada de las condiciones de fijación de los apoyos de la edificación, esto es, a una formulación correcta de las condiciones de frontera, si se habla acerca de la formulación de problema de cálculo de la edificación dentro del campo de la mecánica del cuerpo sólido, pero pasando al campo de un análisis integro de la edificación, el suelo de fundación donde está apoyada la estructura tiene una participación importante, por lo cual tendríamos que realizar un análisis considerando la interacción en forma dinámica, definiendo rigideces para los seis grados de libertad a la cual está sometida la estructura. Para ello existen diversos modelos dinámicos aplicados para diferentes tipos de cimentación. (Villarreal, 2009)

Para la presente tesis se tiene 2 edificaciones con cimentaciones tipo zapatas conectadas y las analizaremos con los modelos dinámicos de D.D. BARKAN - O.A. SAVINOV y la NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87.

#### 2.2.2.2. Modelos de estudio.

El problema principal de la consideración de la flexibilidad de la base de fundación, consiste en la determinación de los seis coeficientes de rigidez.

$K_z$  : Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme.

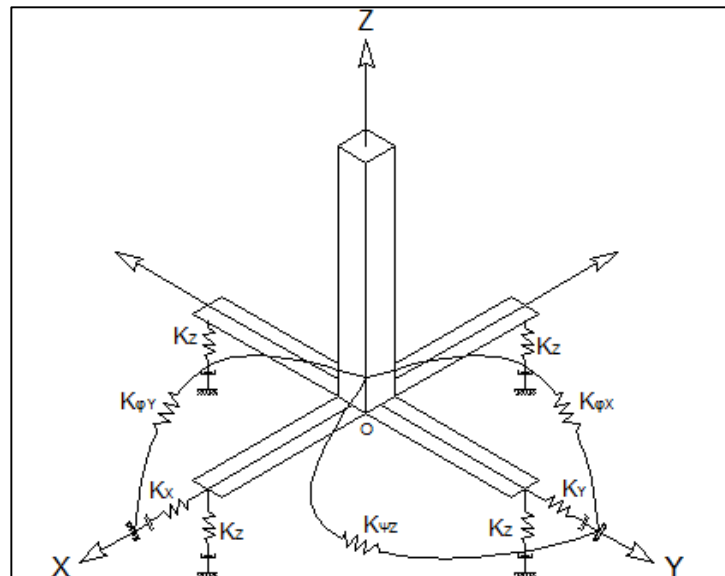
$K_x, K_y$  : Coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme.

$K_{\varphi x}, K_{\varphi y}$  : Coeficientes de rigidez de compresión no uniforme.

$K_{\psi z}$  : Coeficiente de rigidez de desplazamiento no uniforme.

En el figura N°2.1 podemos observar un esquema espacial de la ubicación de los coeficientes de rigidez para una zapata, dicho modelo debe realizarse bajo los siguientes principios: La cimentación debe ser analizado como un cuerpo rígido, despreciando la flexibilidad de la zapata, para ello se debe utilizar un trecho rígido que vaya desde el eje de la columna hacia los bordes de la zapata para cada dirección, colocando resortes y amortiguadores que idealiza el comportamiento del suelo. (Villarreal, 2009)

**Figura N° 2.1.** Esquema espacial de cálculo de la cimentación tipo zapata aislada.



Fuente: Villarreal, 2009.

Además según Villarreal, 2009, sostiene que dicho modelo de cálculo (figura N° 2.1) debe ser corregido, para el caso de la acción sísmica, bajo los siguientes principios:

- La cimentación debe ser analizado como un cuerpo absolutamente rígido.
- En el sistema dinámico suelo-estructura, la cimentación debe ser descrita como una masa puntual en el centro de gravedad de la zapata aislada.
- En calidad de acción externa actúa el efecto sísmico. Para hacer más fácil el esquema de cálculo, puede ser descrito en forma de un vector espacial  $V(t)$ , actuante en el centro de gravedad de la zapata aislada.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Villarreal, 2009, para el desarrollo de la presente investigación se escogieron los modelos dinámicos de Barkan – Savinov y el de la Norma Rusa, los cuales se detallan a continuación:

**a) Modelo dinámico de D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV.**

El modelo dinámico D.D. Barkan - O.A. Savinov considera 5 coeficientes de rigidez restringiendo la rotación en el eje Z; es teórico-experimental, basado en la interacción de la cimentación con la base de fundación en forma de proceso establecido de vibraciones forzadas; como resultado de muchas investigaciones experimentales para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, el científico ruso D.D. Barkan en el año 1948 propuso utilizar las siguientes expresiones:

$$K_x = C_x A \tag{2.1}$$

$$K_y = C_y A \quad (2.2)$$

$$K_z = C_z A \quad (2.3)$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x \quad (2.4)$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y \quad (2.5)$$

Donde:

$C_x, C_y$  : Coeficientes de desplazamiento elástico uniforme.

$C_z$  : Coeficiente de compresión elástico uniforme.

$C_{\varphi x}, C_{\varphi y}$  : Coeficientes de compresión elástico no uniforme.

$A$  : Área de la base de la cimentación.

$I$  : Momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración.

Para determinar los coeficientes de compresión y desplazamiento de la base en el modelo dinámico de D.D. Barkan-O.A. Savinov se utilizan las siguientes expresiones:

$$C_z = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.4)$$

$$C_x = C_y = D_0 \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.5)$$

$$C_{\varphi x} = C_0 \left[ 1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.6)$$

$$C_{\varphi y} = C_0 \left[ 1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (2.6)$$

Donde:

$C_0, D_0$ : Coeficientes determinados a través de experimentos realizados para  $\rho = \rho_0$ .

$a, b$  : Dimensiones de la cimentación en el plano.

$\Delta$  : Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a  $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$ .

$\rho$  : Presión estática.

Para cálculos prácticos se recomienda utilizar las siguientes fórmulas:

$$C_0 = 1.7 \cdot \frac{E_0}{1 - \mu^2} \cdot 10^{-3}; \frac{kg}{cm^3} \quad (2.7)$$

$$D_0 = 1.7 \cdot \frac{E_0}{(1 + \mu)(1 - 0.5\mu)} \cdot 10^{-3}; \frac{kg}{cm^3} \quad (2.8)$$

Donde:

$E_0$  : Módulo de elasticidad, calculado experimentalmente para presión estática del suelo de 0.10 – 0.20 kg/cm<sup>2</sup>.

Además para hallar el coeficiente  $D_0$ , como se mostraron en los experimentos se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} \cdot C_0 \quad (2.9)$$

El valor de  $C_0$  cuando  $\rho_0 = 0.20 \text{ kg/cm}^2$  estará en función al tipo de suelo de la base de fundación de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N° 2.1.** Valores para el coeficiente  $C_0$ .

Perfil	Base de fundación	Suelo	$C_0$ (kg/cm <sup>3</sup> )
S1	Roca o suelo muy rígido	Arcilla y arena arcillosa dura ( $IL < 0$ )	3.00
		Arena compacta ( $IL < 0$ )	2.20
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa.	2.60
S2	Suelo intermedio	Arcilla y arena arcillosa plástica ( $0.25 < IL \leq 0.50$ )	2.00
		Arena plástica ( $0 < IL \leq 0.50$ )	1.60
		Arena polvorosa medio densa y densa ( $e \leq 0.80$ )	1.40
		Arena de grano fino, mediano y grueso independiente de su densidad y humedad.	1.80
S3	Suelo flexible o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ( $0.50 < IL \leq 0.75$ )	0.80
		Arena plástica ( $0.50 < IL \leq 1$ )	1.00
		Arena polvorosa, saturada, porosa ( $e > 0.80$ )	1.20
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ( $IL > 0.75$ )	0.60
		Arena movediza ( $IL > 1$ )	0.60

Fuente: Villarreal, 2009.

Y la presión estática ( $\rho$ ) para zapatas se determina con la siguiente fórmula:

$$\rho_{zapata} = \frac{Peso_{tributario\ de\ la\ zapata} + Peso_{zapata}}{\Área_{zapata}} \quad (2.10)$$

### b) Modelo dinámico de la norma Rusa SNIP 2.02.05-87

En este modelo de análisis, se consideran los 6 grados de libertad de la interacción suelo-estructura sin restringir ningún grado de libertad (ver figura N°2.2) Los coeficientes de rigidez de compresión elástica uniforme  $K_z$ ; desplazamiento elástico uniforme  $K_x$ ; compresión elástica no uniforme  $K_\varphi$  y desplazamiento elástico no uniforme  $K_\psi$ ; se calculan por las siguientes fórmulas:

$$K_x = C_x A \quad (2.11)$$

$$K_y = C_y A \quad (2.12)$$

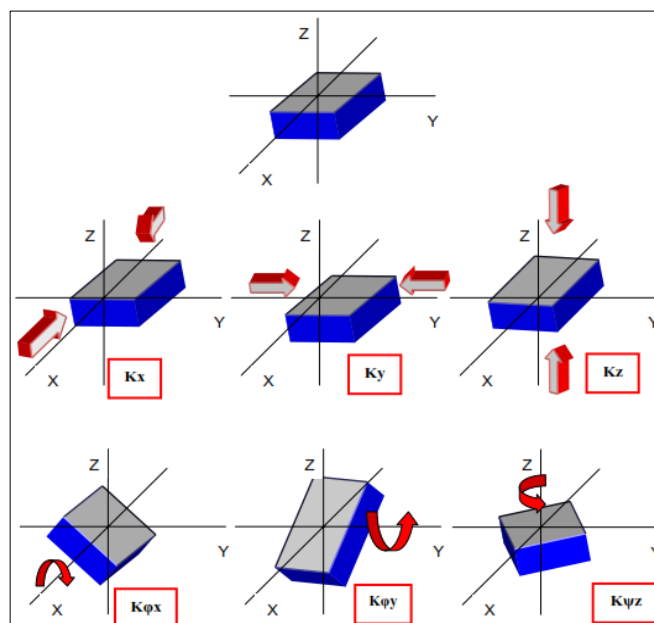
$$K_z = C_z A \quad (2.12)$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x \quad (2.13)$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y \quad (2.13)$$

$$K_{\psi z} = C_{\psi z} I_z \quad (2.14)$$

Figura N° 2.2. Grados de libertad de la cimentación.



Fuente: Villarreal, 2009.

Donde:

$A$  : Área de la base de la cimentación.

$I_x, I_y$  : Momento de inercia del área de la base de la cimentación respecto al eje horizontal, que pasa por el centro de gravedad perpendicular al plano de vibración.

$I_z$  : Momento de inercia del área de la base de la cimentación respecto al eje vertical, que pasa por el centro de gravedad de la cimentación (momento polar de inercia).

La principal característica elástica de la cimentación, es decir el coeficiente de compresión elástica uniforme  $C_z$ , se determina por medio de ensayos experimentales, este coeficiente se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) \quad (2.15)$$

Donde:

$A$  : Área de la base de fundación.

$b_0$  : Coeficiente ( $m^{-1}$ ) asumido mediante la tabla N° 2.2.

$E$  : Módulo de elasticidad del suelo en la base de la cimentación.

$A_{10} = 10 \text{ m}^2$ .

**Tabla N° 2.2.** Valores para el coeficiente  $b_0$ .

TIPO DE SUELO DE FUNDACIÓN	$b_0$ ( $m^{-1}$ )
Suelos arenosos	1.00
Arenas arcillosas	1.20
Arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas.	1.50

**Fuente:** Villarreal, 2009.

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme  $C_x$ , compresión elástica no uniforme  $C_\varphi$  y el de desplazamiento elástico no uniforme  $C_\psi$ , se determinan por las siguientes fórmulas:

$$C_x = 0.70C_z \quad (2.16)$$

$$C_y = 0.70C_z \quad (2.16)$$

$$C_{\varphi x} = 2C_z \quad (2.17)$$



$$C_{\varphi y} = 2C_z \quad (2.17)$$

$$C_{\psi z} = C_z \quad (2.18)$$

### 2.2.3. Geotecnia

#### 2.2.3.1. Definición

Conjunto de técnicas, tanto de campo como de laboratorio, que permiten conocer el terreno para utilizarlo adecuadamente como elemento de construcción, bien directamente como material (en caminos, diques, canales, etc.), bien como soporte de una estructura determinada (cimentaciones).

#### 2.2.3.2. Selección del tipo de cimentación

Según Peck; Hanson; Thornburn, 2009, sostienen que el tipo de cimentación más adecuado para una estructura dada, depende de varios factores, como su función, las cargas que debe soportar, las condiciones del sub suelo y el costo de la cimentación comparado con el costo de la superestructura. Puede ser que sea necesario hacer otras consideraciones, pero las anteriores son las principales.

Al elegir el tipo de cimentación, el ingeniero debe dar los siguientes 5 pasos sucesivos:

1. Obtener cuando menos, información aproximada con respecto a la naturaleza de la superestructura y de las cargas que se van a transmitir a las cimentaciones.
2. Determinar las condiciones del subsuelo en forma general.
3. Considerar brevemente cada uno de los tipos acostumbrados de cimentación, para juzgar si pueden construirse en las condiciones prevalecientes; si serían capaces, de soportar las cargas necesarias, y si pudieran experimentar asentamientos perjudiciales. En esta etapa preliminar se eliminan los tipos evidentemente inadecuados.
4. Hacer estudios más detallados y aun anteproyectos de las alternativas más prometedoras para hacer estos estudios puede ser necesario tener información adicional con respecto a las cargas y condiciones del subsuelo, y generalmente, deberán extenderse lo suficiente para determinar el tamaño aproximado de las zapatas o pilas, o la longitud aproximada y número de pilotes necesarios. También puede ser necesario hacer estimaciones más refinadas de los asentamientos, para predecir el comportamiento de la estructura.
5. Preparar una estimación del costo de cada alternativa viable de cimentación, y elegir el tipo que represente la transacción más aceptable entre el funcionamiento y el costo.

### **2.2.3.3. Mecánica de suelos**

#### **a) El suelo y su origen**

A través de un proceso de desintegración mecánica y descomposición química, las rocas de la corteza terrestre forman los materiales sueltos que se encuentran en ella.

El término “suelo” ha sido definido de diferentes maneras, ya sea que dicha definición provenga del Geólogo, del Agrónomo o del Ingeniero Civil.

Según N.J. Chiossi, el Geólogo define al suelo como el material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de agentes atmosféricos.

Según G.P. Tschebotarioff, el Agrónomo define al suelo como la delgada parte superior del manto de rocas en que penetran las raíces de las plantas y de donde éstas toman el agua y demás sustancias necesarias para su existencia.

Los Ingenieros Civiles A. Rico y H. del Castillo, definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes.

Según Alfred R. Jumikis, Dr. En Ingeniería, define al suelo como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas.

Según el Ingeniero Civil Carlos Crespo Villalaz, define al suelo como una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

#### **b) Principales tipos de suelos**

Según Crespo, 2008, menciona que de acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: Suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual; en caso contrario forman un suelo transportado, cualquiera que haya sido el agente transportador (por gravedad: talud; por agua: aluviales o lacustres; por viento: eólicos; por glaciares: depósitos glaciales).

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre in situ. Muchas veces la cantidad de materia orgánica ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con la relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de

vegetación acuática llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocido con el nombre genérico de turbas.

A continuación se describen los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por el ingeniero civil para su identificación.

▪ **Gravas:**

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en las márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm hasta 2.0 mm.

La forma de las partículas de las gravas y su relativa frescura mineralógica dependen de la historia de su formación, encontrándose variaciones desde elementos rodados a los poliédricos.

▪ **Arenas:**

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en la superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

▪ **Limos:**

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en las canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo este último caso de características plástica. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

▪ **Arcillas:**

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente en un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de éstos minerales es, generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar; se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie se comprimen lentamente. Otra característica interesante desde el punto de vista de la construcción es que la resistencia perdida por el remoldeo se recupera parcialmente con el tiempo.

▪ **Suelos cohesivos y no cohesivos:**

Una característica que hace muy distintivos a diferentes tipos de suelos es la cohesión. Debido a ello los suelos se clasifican en “cohesivos” y “no cohesivos”. Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

#### 2.2.3.4. Estudio de mecánica de suelos

##### a) Obtención de muestras de suelo

El ingeniero Crespo, 2007, asegura que para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es de primordial importancia, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos en sí. A menos que la muestra obtenida sea verdaderamente representativa de los materiales que se pretende usar, cualquier análisis de la muestra solo será aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede, de ahí la imperiosa necesidad de que el muestreo sea efectuado por personal conocedor de su trabajo. Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas. Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, e inalterada en caso contrario.

Para obtener muestras alteradas el muestreo debe efectuarse según el fin que se persiga. Para tomar muestras individuales de un sondeo a cielo abierto (pozo de 1.50m x 1.50m de sección y de la profundidad requerida).

Según la NTP E.050, 2006, menciona que en caso de tomar muestras individuales de un sondeo a cielo abierto (puntos de investigación) deberá identificarse primero las características generales acerca del uso que se le dará, número de pisos, niveles de piso terminado, área aproximada, tipo de estructura, número de sótanos, luces y cargas estimadas.

**Tabla N° 2.3.** Tipo de edificación para determinar el número de puntos de investigación.

TIPO DE EDIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN					
CLASE DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS* (m)	NÚMERO DE PISOS (Incluidos sótanos)			
		≤3	4 a 8	9 a 12	>12
APORTICADA DE ACERO	< 12	C	C	C	B
PÓRTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	C	C	B	A
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERIA	< 12	B	A	---	---
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	A	---	---	---
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	A	A	A	A
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	B	A	A	A
* Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES		≤9 m de altura	> 9m de altura		
		B	A		

**Fuente:** NTP E.050, 2006.

El número de puntos de investigación se determina en la tabla N° 2.4 en función del tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar por este.

**Tabla N° 2.4.** Número de puntos de investigación.

NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	
Tipo de edificación ( Tabla 2.3)	Número de puntos de investigación (n)
A	Uno por cada 225 m <sup>2</sup> de área techada.
B	Uno por cada 450 m <sup>2</sup> de área techada.
C	Uno por cada 800 m <sup>2</sup> de área techada.
Urbanizaciones para viviendas unifamiliares de hasta tres pisos.	3 por cada hectárea de terreno por habilitar.

**Fuente:** NTP E.050, 2006.

Profundidad "p" mínima a alcanzar en cada punto de investigación.

$$p = D_f + z$$

**(2.19)**

Donde:

$D_f$  = Es la distancia vertical desde la superficie del terreno o desde el nivel de piso terminado hasta el fondo de la cimentación, la que resulte menor.

$z = 1.5B$ , siendo B el ancho de la cimentación prevista de mayor área.

En ningún caso  $p$  será menor de 03 metros, excepto si se encontrase roca antes de alcanzar la profundidad  $p$ .

#### **b) Granulometría de los suelos**

Según Hoyos, 2012, menciona que la granulometría estudia la distribución de las partículas que conforman un suelo según su tamaño, lo cual ofrece un criterio obvio para una clasificación descriptiva. La variedad del tamaño de las partículas casi es limitada.

##### ▪ **Tamaño de las partículas del suelo**

Independientemente del origen del suelo, los tamaños de las partículas, en general, que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos en general llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas, ocasionalmente puede tener materia orgánica.

La textura y las propiedades físicas del suelo dependerán del tamaño de ellas. Mayores tamaños de partículas significará mayor espacio entre ellas, resultando un suelo más poroso; menor tamaño de partículas tendrán menor espacio entre ellas dificultando el paso del aire y del agua, por lo tanto este suelo será menos poroso.

Los tamos de grano se han clasificado con base en las dimensiones dad en determinados estándares.

Cuando se realiza un análisis físico de una muestra del suelo se definen dentro de ella variados tamaños de grano que se enmarcan dentro de rangos específicos definidos por diversas entidades o agrupaciones.

Para clasificar a los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula se han establecido muchas clasificaciones granulométricas. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase.

**Tabla N° 2.5.** Clasificaciones granulométricas.

	BRITÁNICO (*) Φ (mm)	AASHTO (**) Φ (mm)	ASTM (***) Φ (mm)	SUCS (****) Φ (mm)
Grava	60 – 2	75 - 2	>2	75 – 4.75
Arena	2 – 0.06	2 – 0.05	2 – 0.075	4.75 – 0.075
Limo	0.006 – 0.002	0.005 – 0.002	0.0075 – 0.005	<0.075 finos
Arcilla	<0.002	<0.002	<0.005	
	B.S. 5930: 1981	American Association of State Highway and Transportation Official.	American Society for Testing and Materials.	Unified Soil Clasifications System.

Fuente: Hoyos, 2012.

▪ **Método del tamizado:**

Después que el suelo está seco y se pulveriza, se hace pasar por una serie organizada de tamices, de orificios con tamaños decrecientes y conocidos, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se pata con el fin de evitar pérdidas de finos ; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (cazoleta) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz.

Con sacudidas horizontales y golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido de cada malla.

Cada tamiz está identificado con un número, por ejemplo, malla #40, malla#100, malla #200, este número indica el número de aberturas a que el espesor del alambre de la malla puede variar, se ha optado por dar el tamaño de los orificios en milímetros.

El cribado por mallas se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo, generalmente se llega hasta el tamaño de 0.074mm. (malla N°200).

**Figura N° 2.3.** Análisis granulométrico por tamizado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**c) Plasticidad de los suelos:**

Existen suelos que al ser remoldados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plasticidad.

La plasticidad es una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva, es considerado como un fenómeno inherente a los suelos de partículas muy finas, limos y arcillas. En la periferia de las partículas tiene efecto un fenómeno eléctrico superficial, ya que ésta posee carga negativa y por tanto, atrae los iones positivos del agua. La plasticidad es pues, una consecuencia directa de estos fenómenos.

Por lo tanto la plasticidad puede definirse como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

▪ **Estados de consistencia:**

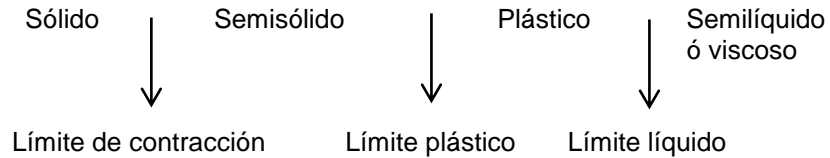
La consistencia de un suelo se define como su resistencia al esfuerzo cortante, es la oposición que presenta la masa de un suelo a que se le deforme.



▪ **Los límites de Atterberg:**

Son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. (Jimenez; Justo, 1975)

**Figura N° 2.4.** Límites de Atterberg.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- **Límite líquido:**

Es el contenido de humedad que corresponde a la frontera entre los estados de consistencia semilíquido y plástico de un suelo.

El límite líquido se determina cerrando una ranura practicada en una muestra de suelo en un dispositivo llamado copa de Casagrande golpeándola mediante una manivela, un golpe representa la resistencia al esfuerzo cortante de 1gr/cm<sup>2</sup>.

Por consiguiente como límite líquido corresponde al cierre de la ranura en 25 golpes, entonces el límite líquido indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una resistencia de 25gr/cm<sup>2</sup>. (Hoyos, 2012)

**Figura N° 2.5.** Copa de Casagrande.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- **Límite plástico:**

Frontera convencional entre los estados semisólido y plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta obtener un diámetro de 3mm en el cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua que se encuentra se registra como límite plástico.

La resistencia al esfuerzo cortante en el límite plástico es una medida de la tenacidad. (Hoyos, 2012)

**Figura N° 2.6.** Límite plástico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**d) Contenido de humedad (w %)**

Es la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, suele expresarse en porcentaje. En esta relación no se incluye el agua de composición de las partículas sólidas. (Juárez; Rico, 2012)

$$w(\%) = (W_w / W_s) * 100 \quad (2.20)$$

**e) Peso específico**

Viene a ser el resultado de la relación entre el peso y el volumen. (Juárez; Rico, 2012)

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (2.21)$$

#### d.1. Peso específico de material fino

Juega un papel muy importante en la mayor parte de las pruebas y cálculos de la mecánica de suelos, se toma como referencia la norma AASHTO T100-ASTM854. (Juárez; Rico, 2012)

$$\gamma_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fws}} \quad (2.22)$$

Donde:

$W_s$  : Peso de la muestra seca que pesa en el tamiz N°4

$W_{fw}$  : Peso de una fiola de 500ml llena con agua hasta la marca de 500ml.

$W_{fws}$  : Peso del frasco con agua y muestra.

#### 2.2.4. Requerimientos mínimos de diseño sismorresistente según la NTP E.030.

A continuación se menciona los requerimientos mínimos establecidos en la norma técnica peruana de diseño sismorresistente E.030, para el análisis y diseño de edificaciones.

##### 2.2.4.1. Generalidades

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico adecuado, con la finalidad de:

- Evitar pérdidas de vidas humanas.
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños a la propiedad

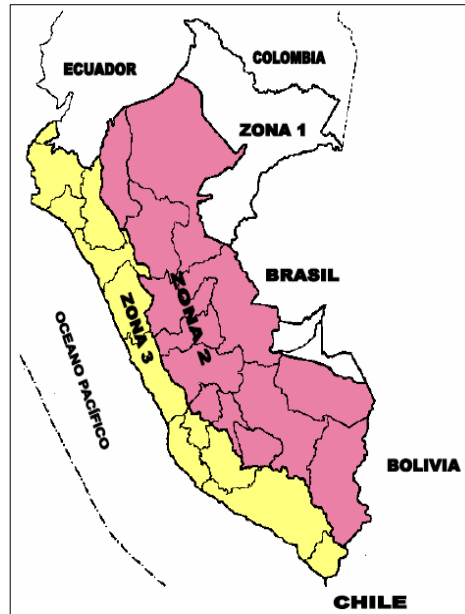
Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultaren dañadas por la acción de los sismos.

##### 2.2.4.2. Parámetros de sitio

###### a) Zonificación

El territorio nacional se encuentra dividido en tres zonas, como se muestra en la figura N° 2.7. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica.

**Figura N° 2.7.** Mapa de Zonificación Sísmica



Fuente: NTP E.030, 2006.

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la tabla N° 2.6. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

**Tabla N° 2.6.** Factores de zona.

FACTORES DE ZONA	
ZONA	Z
3	0.40
2	0.30
1	0.15

Fuente: NTP E.030, 2006.

## **b) Condiciones locales**

### **b.1. Condiciones geotécnicas**

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelo son cuatro:

- **Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos.**

A este tipo corresponden las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte similar al de una roca, en los que el período fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede 0.25 s, incluyéndose los casos en los que se cimenta sobre:

- Roca sana o parcialmente alterada, con un resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 KPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
  - Grava arenosa densa.
  - Estrato de no más de 20 m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte en condiciones no drenadas superior a 100 KPa (1kg/cm<sup>2</sup>), sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
  - Estrato de no más de 20 m de arena muy densa con N>30, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.
- **Perfil tipo S2: Suelos intermedios.**

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S1 y S3.

- **Perfil tipo S3: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.**

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el período fundamental, para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0.60 s, incluyéndose los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los valores siguientes.

**Tabla N° 2.7.** Perfil tipo S3.

Suelos Cohesivos	Resistencia al Corte típica en condición no drenada (kPa)	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	<25	20
Medianamente compactos	25 – 50	25
Compactos	50 – 100	40
Muy compactos	100 – 200	60
Suelos Granulares	Valores N típicos en ensayos De penetración estándar (STP)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 – 10	40
Medianamente densos	10 – 30	45
Densos	Mayor que 30	100

(\*) Suelo con velocidad de onda de corte menor que el de una roca.

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

- **Perfil tipo S4: Condiciones excepcionales.**

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describas las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de  $T_p$  y del factor de amplificación del suelo  $S$ , dados en la tabla N° 2.8.

En los sitios donde las propiedades del suelo sean poco conocidas se podrán usar los valores correspondientes al perfil tipo  $S_3$ . Sólo será necesario considerar un perfil tipo  $S_4$  cuando los estudios geotécnicos así lo determinen.

**Tabla N° 2.8.** Parámetros de suelo.

Parámetros de Suelos			
Tipo	Descripción	$T_p$ (s)	S
$S_1$	Roca y suelos muy rígidos	0.4	1.0
$S_2$	Suelos intermedios	0.6	1.2
$S_3$	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
$S_4$	Condiciones excepcionales	*	*

(\*) Los valores de  $T_p$  y  $S$  para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo  $S_3$ .

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

### c) Factor de amplificación sísmica

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica ( $C$ ) por la siguiente expresión:

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right); C \leq 2.5 \quad (2.23)$$

Donde:

$T$ : es el período.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración del suelo.

### d) Categoría de las edificaciones

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la tabla N° 2.9. El coeficiente de uso e importancia ( $U$ ), se usará según la clasificación que se haga.

**Tabla N° 2.9.** Categoría de las edificaciones.

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA	DESCRIPCION	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería inmediatamente después de que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1.5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros, comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1.0
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	*

(\*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

#### e) Configuración estructural

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de fuerza sísmica (tabla N° 2.10).

- **Estructuras regulares:** Son las que no tienen discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales.

- **Estructuras irregulares:** Se definen como estructuras irregulares aquellas que presentan una o más de las características indicadas en la tabla N° 2.8 o Tabla N° 2.9.

**Tabla N° 2.10.** Irregularidades estructurales en altura.

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA</b>
<p><b>Irregularidades de rigidez – piso blando</b></p> <p>En cada dirección la suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte en un entrepiso, columnas y muros, es menor que 85% de la correspondiente suma para el entrepiso superior, o es menor que 90% del promedio para los 3 pisos superiores. No es aplicable en sótanos.</p> <p>Para pisos de altura diferentes multiplicar los valores anteriores por <math>(h_i/h_d)</math> donde <math>h_d</math> es altura diferente de piso y <math>h_i</math> es la altura típica de piso.</p>
<p><b>Irregularidad de Masa</b></p> <p>Se considera que existe irregularidad de masa, cuando la masa de un piso es mayor que el 150% de la masa de un piso adyacente. No es aplicables en azoteas.</p>
<p><b>Irregularidad geométrica vertical</b></p> <p>La dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 130% de la correspondiente dimensión en un piso adyacente. No es aplicable en azoteas ni en sótanos.</p>
<p><b>Discontinuidad en los sistemas resistentes</b></p> <p>Desalineamiento de elementos verticales, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento.</p>

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

**Tabla N° 2.11.** Irregularidades estructurales en planta.

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA</b>
<p><b>Irregularidad torsional</b></p> <p>Se considerará sólo en edificios con diafragmas rígidos en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible indicado en la tabla N°2.9.</p> <p>En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1.3 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto.</p>
<p><b>Esquinas entrantes</b></p> <p>La configuración en planta y el sistema resistente de la estructura, tiene esquinas entrantes, cuyas dimensiones en ambas direcciones, son mayores que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta.</p>
<p><b>Discontinuidad del diafragma</b></p> <p>Diafragma con discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma.</p>

**Fuente:** NTP E.030, 2006.



#### f) Sistemas estructurales

Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismo resistente predominante en cada dirección tal como se indica en la tabla N° 2.10.

Según la clasificación que se haga de una edificación se usará un coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R). Para el diseño por resistencia última las fuerzas sísmicas internas deben combinarse con factores de carga unitarios. En caso contrario podrá usarse como (R) los valores establecidos en tabla N° 2.12 previa multiplicación por el factor de carga de sismo correspondiente.

**Tabla N° 2.12.** Sistemas estructurales.

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema estructural	Coefficiente de reducción, R para estructuras regulares (*) (**)
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9.5
Otras estructuras de acero:	6.5
Arriostres Excéntricos.	6.0
Arriostres en Cruz	
Concreto Armado	
Pórticos <sup>(1)</sup> .	8
Dual <sup>(2)</sup> .	7
De muros estructurales <sup>(3)</sup> .	6
Muros de ductilidad limitada <sup>(4)</sup> .	4
Albañilería Armada o Confinada <sup>(5)</sup> .	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

- Por lo menos el 80% del cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos que cumplan los requisitos de la NTE E.060 Concreto Armado. En caso se tengan muros estructurales, estos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.
- Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 25% del cortante en la base.

- Edificación de baja altura con alta densidad de muros de ductilidad limitada.
- Para diseño por esfuerzos admisibles el valor R será 6.

(\*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras de péndulo invertido.

(\*\*) Para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como  $\frac{3}{4}$  de los anotados en la Tabla.

Para construcciones de tierra referirse a la NTE E.080 Adobe. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos S3, ni se permite en suelos S4.

### g) Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones

De acuerdo a la categoría de una edificación y la zona donde se ubique, ésta deberá proyectarse observando las características de regularidad y empleando el sistema estructural que se indica en la tabla N° 2.11.

**Tabla N° 2.13.** Categoría y estructura de las edificaciones.

CATEGORÍA Y ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES			
Categoría de la edificación	Regularidad E estructural	Zona	Sistema estructural
A (*) (**)	Regular	3	Acero, Muros de concreto armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema dual.
		2 y 1	Acero, Muros de concreto armado, Albañilería Armada o Confinada, Sistema dual, Madera.
B	Regular irregular	3 y 2	Acero, Muros de concreto armado, Albañilería Armada o Confinada, Madera.
		1	Cualquier sistema.
C	Regular irregular	3, 2, 1	Cualquier sistema.

(\*) Para lograr los objetivos indicados en la tabla N°2.4, la edificación será especialmente estructurada para resistir sismos severos.

(\*\*) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se podrá usar materiales tradicionales.

**Fuente:** NTP E.030, 2006.

### h) Procedimientos de análisis

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos.

Las estructuras clasificadas como regulares no serán de más de 45m de altura y las estructuras de muros portantes de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares, podrán analizarse mediante el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes.

**i) Desplazamientos laterales**

▪ **Desplazamientos laterales permisibles**

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la tabla N° 2.14.

**Tabla N° 2.14.** Límites para desplazamiento lateral de entrepiso.

<b>LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO</b>	
<b>Estos límites no son aplicables a naves industriales</b>	
<b>Material Predominante</b>	$(\Delta_I/he_I)$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

Fuente: NTP E.030, 2006.

▪ **Junta de separación sísmica (s)**

Toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima *s* para evitar el contacto durante el movimiento sísmico.

Esta distancia mínima no será menos que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los bloques adyacentes ni menor que:

$$s = 3 + 0,004 * (h - 500) \quad (h \text{ y } s \text{ en centímetros}) \quad (2.24)$$

$$s > 3cm$$

Donde *h* es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar *s*.

El edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que 2/3 del desplazamiento máximo calculado.

**2.2.4.3. Análisis de edificios**

**a) Generalidades**

**a.1. Solicitaciones sísmicas y análisis**

El análisis podrá desarrollarse usando las solicitaciones sísmicas reducidas con un modelo de comportamiento elástico para la estructura.

## **a.2. Modelos para análisis de edificios**

El modelo para análisis deberá considerar una distribución espacial de masas y rigidez que sean adecuadas para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos deberán compatibilizarse mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales deberá hacerse en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Deberá verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia suficientes para asegurar la distribución mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

## **a.3. Peso de la edificación**

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la Edificación en un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera.

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25% de la carga viva.
- En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener.

## **a.4. Desplazamientos laterales**

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R.

## **a.5. Solicitaciones sísmicas verticales**

Estas solicitaciones se considerarán en el diseño de elementos verticales, en elementos post o pre tensados y en los voladizos o salientes de un edificio.

## b) Análisis estático

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel de la edificación.

Debe emplearse sólo para edificios sin irregularidades y de baja altura.

### b.1. Periodo fundamental

- El período fundamental para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (2.25)$$

Donde:

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

$C_T = 45$  para edificios de concreto armado cuyos elementos sismo resistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras.

$C_T = 60$  para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismo resistente sean fundamentalmente muros de corte.

- También podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede usarse la siguiente expresión.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * D_i^2}{(g * \sum_{i=1}^n F_i * D_i)}} \quad (2.26)$$

Cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el periodo fundamental deberá tomarse como el 0,85 del valor obtenido por este método.

### b.2. Fuerza cortante en la base

La fuerza cortante total en base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \quad (2.27)$$

Debiendo considerarse para C/R el siguiente valor mínimo:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad (2.28)$$

### b.3. Distribución de la fuerza sísmica en altura

Si el periodo fundamental  $T$ , es mayor que 0.7 s, una parte de la fuerza cortante  $V$ , denominada  $F_a$ , deberá aplicarse como fuerza concentrada en la parte superior de la estructura. Esta fuerza  $F_a$  se determinará mediante la expresión:

$$F_a = 0.07 * T * V \leq 0.15 * V \quad (2.29)$$

Donde el período  $T$  en la expresión anterior será el mismo que el usado para la determinación de la fuerza cortante en la base.

El resto de la fuerza cortante, es decir  $(V - F_a)$  se distribuirá entre los distintos niveles, incluyendo el último, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{P_i * h_i}{\sum_{j=1}^n P_j * h_j} * (V - F_a) \quad (2.30)$$

### b.4. Efectos de torsión

Se supondrá que la fuerza en cada nivel ( $F_i$ ) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y debe considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación.

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel ( $e_i$ ), se considerará como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de la acción de las fuerzas.

En cada nivel además de la fuerza actuante, se aplicará el momento accidental denominado  $M_{ti}$  que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i e_i \quad (2.31)$$

Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se considerarán únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

### b.5. Fuerzas sísmicas verticales

La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso.

Para las zonas 3 y 2 esta fracción será de  $2/3Z$ . Para la zona 1 no será necesario considerar este efecto.

### c) Análisis dinámico

El análisis dinámico de las edificaciones podrá realizarse mediante procedimientos de combinación espectral o por medio de análisis tiempo-historia.

Para edificaciones convencionales podrá usarse el procedimiento de combinación espectral; y para edificaciones especiales deberá usarse un análisis tiempo-historia.

#### c.1. Análisis por combinación modal espectral

- **Modos de vibración**

Los periodos naturales y modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas de la estructura.

- **Aceleración espectral**

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g \quad (2.32)$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

- **Criterios de combinación**

Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima esperada ( $r$ ) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada ( $r$ ) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados ( $r_i$ ) podrá determinarse usando la siguiente expresión.

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 * \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (2.33)$$

Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

- **Fuerza cortante mínima en la base**

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80 % para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

- **Efectos de torsión**

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis.

En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.



### 2.3. Definición de términos básicos

**Cinturón de fuego circumpacífico:** Conocido también como cinturón de fuego del Pacífico o anillo de fuego del Pacífico, está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. (Wikipedia, 2015)

**Respuesta estructural:** La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas. (Meli, 2010)

**Fuerzas internas:** En el interior de los miembros estructurales se desarrollan acciones que pueden ser fuerzas normales, fuerzas cortantes, momentos flexionantes y momentos torsionantes. (González, 2008)

**Cimentación:** Elemento estructural que tiene como función transmitir las acciones de carga de la estructura al suelo de fundación. (NTP E.060, 2006)

**Sistema estructural:** Sistema resistente que aporta rigidez a la estructura ante fuerzas horizontales. (NTP E.020, 2006)

**Perfil estratigráfico:** Gráfico donde se anota los espesores de los estratos y tipos de suelo que se va encontrando a medida que se va profundizando la excavación. (Crespo, 2007)

**Estructura regular:** Son las que no tienen discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales. (NTP E.030, 2006)

**Estructura irregular:** Se definen como estructuras irregulares a aquellas que presentan discontinuidades tanto horizontales como verticales en su configuración resistente a cargas laterales. (NTP E.030, 2006)

**Análisis estático:** Análisis mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel de la edificación. (NTP E.030, 2006)

**Análisis dinámico:** Análisis realizado mediante procedimientos de combinación espectral o por medio de análisis tiempo – historia. (NTP E.030, 2006)

**Diafragma rígido:** Se entiende como diafragma rígido a una lámina que no se deforma axialmente ni se flexiona ante cargas sometidas en su plano. (San Bartolomé; Quiun; Silva, 2011)

**Carga muerta:** Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su propio peso, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. (NTP E.020, 2006)

**Carga viva:** Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación. (NTP E.020, 2006)

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

La respuesta estructural de los módulos B y C de la I.E Julio Ramón Ribeyro es mejor si se considera la interacción suelo-estructura debido a que parte de la energía liberada por el sismo será absorbida por el suelo de fundación.

### 3.2. Operacionalización de variables

**Variable independiente** : Periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas.

**Variable dependiente** : Respuesta estructural considerando y sin considerar la interacción suelo - estructura.

Tabla N° 3.1. Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas.	Son parámetros que definen la respuesta estructural de las estructuras.	Análisis del edificio con base empotrada	Valores obtenidos del análisis sísmico según norma de diseño sismorresistente E. 030.
		Análisis del edificio considerando interacción suelo-estructura.	Valores obtenidos del análisis sísmico según norma de diseño sismorresistente E. 030 aplicando los modelos dinámicos de D.D. Barkan – O.A. Savinov y norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 3.2. Variable Dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Respuesta estructural considerando y sin considerar la interacción suelo - estructura.	Reacción de la estructura al ser sometido a fuerzas externas generadas por un sismo.	Análisis sísmico estático considerando y sin considerar la interacción suelo - estructura.	Control de periodos de vibración, derivas de entrepiso y fuerzas internas máximas.
		Análisis sísmico dinámico considerando y sin considerar la interacción suelo - estructura.	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

### 4.1. Caracterización del edificio

#### 4.1.1. Módulo “B”

Área total: 179.35 m<sup>2</sup>

**Tabla N° 4.1.** Ambientes y áreas del 1° nivel.

Ambiente	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Laboratorio	01	53.99
Sala de profesores	01	26.27
Dirección	01	26.27

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 4.2.** Ambientes y áreas del 2° nivel.

Ambiente	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Aula 2	01	53.99
Aula 1	01	54.53

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

Este módulo tiene 2 niveles, el ingreso a la biblioteca, sala de profesores y dirección del primer nivel es directo al igual que para las aulas del segundo, se usará para el siguiente nivel un pasadizo, este módulo cuenta con ventanas en ambos lados encontrándose en la parte que da hacia la calle con ventanas altas y las ventanas que dan al interior son ventanas bajas, la escalera se encuentra aislada a la estructura.

La altura de los niveles es diferente por piso siendo así del primer nivel 3.50 m de altura, del segundo 4.03 m, para este piso se cuenta con un techo inclinado con pendiente de 12.58%. Se cuenta con 5 pórticos. Los planos de la arquitectura se encuentran a detalle en el anexo 01 (planos A-1, A-2 y A-3).

#### 4.1.2. Módulo “C”

Área total: 323.54 m<sup>2</sup>

**Tabla N° 4.3.** Ambientes y áreas del 1° nivel.

Ambiente	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Escalera	01	15.33
Aula 101	01	49.21
Aula 102	01	49.15
Aula 103	01	49.21
SS.HH Mujeres	01	22.18
SS.HH Varones	01	22.35

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 4.4.** Ambientes y áreas del 2° nivel.

Ambiente	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Escalera	01	15.33
Aula 201	01	49.21
Aula 202	01	49.15
Aula 203	01	49.21
SS.HH Damas	01	22.18
SS.HH Varones	01	22.35

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 4.5.** Ambientes y áreas del 3° nivel.

Ambiente	Cantidad	Área (m <sup>2</sup> )
Escalera	01	15.33
Aula 301	01	49.21
Biblioteca	01	98.36
SS.HH Damas	01	22.18
SS.HH Varones	01	22.35

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

Este módulo tiene 3 niveles, el ingreso a las aulas 101,102 y 103 que se encuentran en el primer nivel el acceso es directo al igual que para las aulas del segundo nivel 201, 202, 203, en el tercer nivel para el aula 301 y la biblioteca el acceso también será directo, y se usará para estos niveles un corredor, este módulo cuenta con ventanas por ambos lados, encontrándose en la parte que da hacia la calle con ventanas altas y las ventanas que dan al interior son ventanas bajas, la escalera se encuentra unida a la estructura, mientras los servicios higiénicos correspondientes para damas y varones se encuentran aislados de la estructura principal.

La altura de los niveles es diferente por piso siendo así del primer nivel 3.20 m de altura, del segundo nivel 3.20 m y el tercer nivel 4.07m para este piso se cuenta con un techo inclinado a dos aguas con pendientes de 23.42% y 28.39% respectivamente. Se cuenta con 8 pórticos. Los planos de la arquitectura se encuentran a detalle en el anexo 01 (planos A-4, A-5 y A-6).

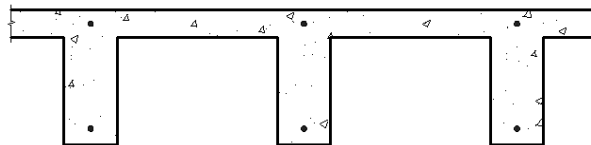
## 4.2. Criterios de modelación

### 4.2.1. Losa aligerada

#### 4.2.1.1. Geometría

Las losas aligeradas en 1 dirección serán modeladas del tipo **Ribbed** y ésta presenta la siguiente geometría:

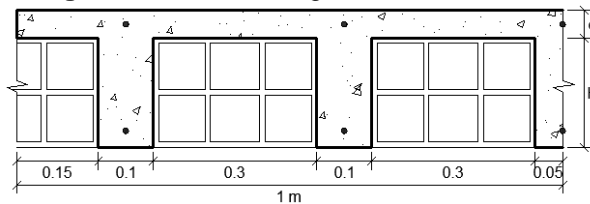
**Figura N° 4.1.** Losa aligerada en 1 dirección.



Fuente: Elaboración propia, 2015

La geometría anterior es muy similar a la geometría de **una losa aligerada en 1 dirección**:

**Figura N° 4.2.** Losa aligerada en 1 dirección.



Fuente: Elaboración propia, 2015

#### 4.2.1.2. Cargas

El programa ETABS calculará solamente el peso de las viguetas y para tener un modelamiento correcto se deberá adicionar el peso de los ladrillos. El peso de los ladrillos se calculará de la siguiente manera:

- a) Primero calcularemos el volumen de concreto para 1 m<sup>2</sup> de losa aligerada con la siguiente fórmula deducida a partir de la figura N° 4.2:

$$V_c = 0.05 + 0.25H \quad (4.1)$$

Donde:

$$\begin{aligned} t &= 0.20 \text{ m} && t: \text{espesor de la losa aligerada} \\ e &= 0.05 \text{ m} \\ H &= 0.15 \text{ m} \end{aligned}$$

Reemplazando valores en la ecuación anterior (4.1), el volumen de concreto es:

$$V_c = 0.08750 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2$$

- b) Con el volumen de concreto calculado en el paso anterior se puede calcular el peso propio de las viguetas:

$$\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3 \quad \gamma_c: \text{Peso específico del concreto}$$

Multiplicando el volumen de concreto por el peso específico del concreto se obtiene el peso propio de las viguetas para 1 m<sup>2</sup> de losa aligerada.

$$P_p = 210 \text{ kg/m}^2$$

- c) El peso de los ladrillos se calculará de la siguiente manera:

$$P_{\text{viguetas}} = 210 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Peso calculado en el paso anterior}$$

$$P_{\text{losa alig.}} = 300 \text{ kg/m}^2 \quad \text{Peso propio de losa aligerada de } e=20 \text{ cm} \\ \text{según E.020-2006 (Anexo 1: pesos} \\ \text{unitarios)}$$

El peso de los ladrillos por m<sup>2</sup> se calculará restando el peso de las viguetas al peso propio de la losa aligerada según la norma E.020-2006.

$$\text{Peso de ladrillos} = 90 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{peso a utilizar en el modelo})$$

#### 4.2.2. Cálculo del peso de la cobertura por m<sup>2</sup>

Tabla N° 4.6. Datos del fabricante.

Medidas del producto				Medidas útiles		
Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (mm)	Peso aprox. (Kg)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1.14	0.72	5.00	8.40	1.00	0.69	0.69



Fuente: <http://www.eternit.com.pe/productos/techos/techos-decorativos/teja-andina>.

Para el cálculo del peso de la cobertura por m<sup>2</sup> se divide el peso entre su área útil:

$$\text{Peso de la cobertura} = 12.17 \text{ kg/m}^2$$

Por cuestiones didácticas tomaremos un valor redondeado de:

$$\text{Peso de la cobertura} = 15 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{peso a utilizar en el modelo})$$

#### 4.2.3. Factor "C"

Tabla N° 4.7. Parámetros según E.030-2006.

Z =	0.40	Zona sísmica 3 (Ciudad de Cajamarca)
U =	1.50	Categoría A: edificación esencial (centro educativo)
S =	1.40	Suelo flexible
Rx =	8.00	Sistema estructural: pórticos de concreto armado

<b>Ry =</b>	8.00	Sistema estructural: pórticos de concreto armado
<b>Tp =</b>	0.90	Suelo flexible

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

#### 4.2.3.1. Cálculo del periodo de vibración de la estructura

Este valor se obtiene directamente del programa ETABS.

##### a) Módulo "B"

$$T_x = 0.451 \text{ segundos}$$

$$T_y = 0.309 \text{ segundos}$$

##### b) Módulo "C"

$$T_x = 0.568 \text{ segundos}$$

$$T_y = 0.414 \text{ segundos}$$

##### c) Módulo "C" SS-HH

$$T_x = 0.575 \text{ segundos}$$

$$T_y = 0.418 \text{ segundos}$$

#### 4.2.3.2. Cálculo del factor de amplificación sísmica (C):

Se calculará con la fórmula dada en la norma E.030 - 2006 (artículo 7).

$$C = 2.5 * \frac{T_p}{T}; C \leq 2.5 \quad (4.2)$$

Valores de "C" calculados:

##### a) Módulo "B"

$$C_x = 4.99$$

$$C_y = 7.28$$

##### b) Módulo "C"

$$C_x = 3.96$$

$$C_y = 5.43$$

##### c) Módulo "C" SS-HH

$$C_x = 3.91 \text{ segundos}$$

$$C_y = 5.38 \text{ segundos}$$

Valores de "C" tomados:

$$C_x = 2.50$$

$$C_y = 2.50$$

Además se deberá comprobar la expresión dada en la norma E.020-2006 (artículo 17.3).

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} C_x/R_x &= 0.31 && \text{Cumple!} \\ C_y/R_y &= 0.31 && \text{Cumple!} \end{aligned}$$

#### 4.2.3.3. Cálculo del factor de "C" de la fuerza sísmica

La fuerza cortante total en la base de la estructura se define según E.020-2006 (artículo 17.3)

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

(4.4)

Por lo tanto el factor "C" que se ingresará a ETABS para los modelos "B" y "C" es:

$$C = \frac{ZUCS}{R}$$

(4.5)

$$\begin{aligned} C_x &= 0.2625 \text{ segundos} \\ C_y &= 0.2625 \text{ segundos} \end{aligned}$$

#### 4.2.4. Cálculo del espectro de diseño según norma

Parámetros según E.030-2006 (*Tabla N° 4.8.*)

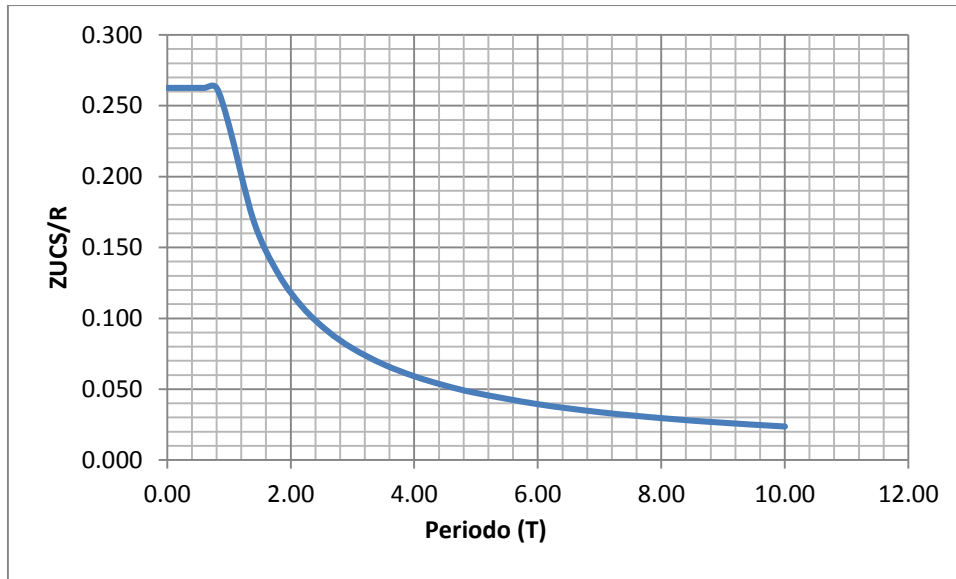
**Tabla N° 4.8.** Cálculo de datos de espectro de diseño.

T	C	ZUCS/R
0.00	2.500	0.263
0.20	2.500	0.263
0.40	2.500	0.263
0.60	2.500	0.263
0.80	2.500	0.263
1.00	2.250	0.236
1.40	1.607	0.169
1.80	1.250	0.131
2.20	1.023	0.107
2.60	0.865	0.091
3.00	0.750	0.079
3.50	0.643	0.068
4.00	0.563	0.059
4.50	0.500	0.053
5.00	0.450	0.047
6.00	0.375	0.039
7.00	0.321	0.034
8.00	0.281	0.030
9.00	0.250	0.026
10.00	0.225	0.024

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.



**Figura N° 4.3.** Espectro de diseño.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.2.5. Características de los materiales

##### 4.2.5.1. Concreto:

Resistencia a la compresión :  $f'c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Peso por unidad de volumen:  $\gamma$  = 2.4 Ton/m<sup>3</sup>.

Módulo de elasticidad :  $E_c$ =2173706.512Tn/m<sup>2</sup>.

Módulo de poisson :  $\mu$ =0.15

##### 4.2.5.2. Acero e refuerzo:

Esfuerzo de fluencia :  $f_y$ =4200.00 kg/cm<sup>2</sup>.

Módulo de elasticidad :  $E_s$ =21x10<sup>6</sup> Tn/m<sup>2</sup>.

### 4.3. Metrado de cargas:

#### 4.3.1. Módulo "B"

- **Cargas sobre vigas en techo de primer nivel**

$Y_{alb} = 1.80 \text{ Tn/m}^3$

- Peso de la tabiquería sobre VCH-1, V-101(pasadizo).

$$h_{muro} = 1.10 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.26 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-101(ventana baja).

$$h_{muro} = 1.20 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.28 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-101(ventana alta).

$$h_{muro} = 2.10 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.49 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre V-101(muros de división).

$$h_{muro} = 2.94 \text{ m} \quad (\text{promedio de 3 alturas})$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.69 \text{ Tn/m}$$

- **Cargas muertas y vivas de entrepiso.**

- *Carga muerta:*

$$\text{Acabados} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ladrillo} = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{CM} = 0.19 \text{ Tn/m}^2$$

- *Cargas vivas:*

$$\text{En aulas} = 0.25 \text{ Tn/m}^2$$

$$\text{En pasadizos} = 0.40 \text{ Tn/m}^2$$

- **Cargas muertas y vivas sobre techo.**

- *Carga muerta:*

$$\text{Acabados} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ladrillo} &= 90 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Teja andina} &= 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{CM} &= 0.21 \text{ Tn/m}^2 \end{aligned}$$

- Cargas vivas:

$$\text{Teja andina} = 0.05 \text{ Tn/m}^2 \text{ (Según E0.20, artículo 7.1)}$$

#### 4.3.2. Módulo "C"

##### ▪ Cargas sobre vigas en techo de primer nivel

$$Y_{alb} = 1.80 \text{ Tn/m}^3$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-101.

$$h_{muro} = 1.50 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.35 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-104.

$$h_{muro} = 1.50 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.35 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre VB (pasadizo).

$$h_{muro} = 1.10 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.26 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre V-101, V-102, V104 y V105 (muros de división).

$$h_{muro} = 2.60 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.61 \text{ Tn/m}$$

##### ▪ Cargas sobre vigas en techo de segundo nivel

- Peso de la tabiquería sobre VS-201.

$$h_{muro} = 1.50 \text{ m}$$

$$e_{muro} = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.35 \text{ Tn/m}$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-204.

$$h_{muro} = 1.50m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

**Peso sobre la viga = 0.35 Tn/m**

- Peso de la tabiquería sobre VB (pasadizo).

$$h_{muro} = 1.10m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

**Peso sobre la viga = 0.26 Tn/m**

- Peso de la tabiquería sobre V-201, V-202, V204 (solo eje D) y V105 (muros de división).

$$h_{muro} = 3.10m \quad (\text{promedio de 3 alturas})$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

**Peso sobre la viga = 0.73 Tn/m**

▪ **Cargas muertas y vivas de entrepiso.**

- *Carga muerta:*

$$\text{Acabados} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\underline{\text{Ladrillo}} = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{CM} = 0.19 \text{ Tn/m}^2$$

- *Cargas vivas:*

$$\text{En aulas} = 0.25 \text{ Tn/m}^2$$

$$\text{En biblioteca} = 0.30 \text{ Tn/m}^2$$

$$\text{En pasadizos} = 0.40 \text{ Tn/m}^2$$

▪ **Cargas muertas y vivas sobre techo.**

- *Carga muerta:*

$$\text{Acabados} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ladrillo} = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\underline{\text{Teja andina}} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{CM} = 0.21 \text{ Tn/m}^2$$

- *Cargas vivas:*

$$\text{Teja andina} = 0.05 \text{ Tn/m}^2 \quad (\text{Según E0.20, artículo 7.1})$$

#### 4.3.3. Módulo "C" – SS.HH

- **Cargas sobre vigas en techo de primer nivel**

$$Y_{alb}=1.80Tn/m^3$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-102.

$$h_{muro} = 2.100m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.49 Tn/m$$

- Peso de la tabiquería sobre VB (pasadizo).

$$h_{muro} = 1.10m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.26 Tn/m$$

- Peso de la tabiquería sobre V-104, V-106, V107.

$$h_{muro} = 2.60m \quad (\text{promedio de 3 alturas})$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.61 Tn/m$$

- **Cargas sobre vigas en techo de segundo nivel**

- Peso de la tabiquería sobre VS-201.

$$h_{muro} = 1.50m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.35 Tn/m$$

- Peso de la tabiquería sobre VS-204.

$$h_{muro} = 1.50m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.35 Tn/m$$

- Peso de la tabiquería sobre VB (pasadizo).

$$h_{muro} = 1.10m$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

$$\text{Peso sobre la viga} = 0.26 Tn/m$$

- Peso de la tabiquería sobre V-201, V-202, V204 (solo eje D) y V105 (muros de división).

$$h_{muro} = 3.10m \quad (\text{promedio de 3 alturas})$$

$$e_{muro} = 0.13m$$

**Peso sobre la viga = 0.73 Tn/m**

▪ **Cargas muertas y vivas de entrepiso.**

- *Carga muerta en SS-HH:*

Acabados = 100 kg/m<sup>2</sup>

Tabiquería = 50 kg/m<sup>2</sup>

Ladrillo = 90 kg/m<sup>2</sup>

**CM = 0.24Tn/m<sup>2</sup>**

- *Carga muerta en pasadizo:*

Acabados = 100 kg/m<sup>2</sup>

Ladrillo = 90 kg/m<sup>2</sup>

**CM = 0.19Tn/m<sup>2</sup>**

- *Cargas vivas:*

En aulas = 0.25 Tn/m<sup>2</sup>

En pasadizos = 0.40 Tn/m<sup>2</sup>

▪ **Cargas muertas y vivas sobre techo.**

- *Carga muerta:*

Acabados = 100 kg/m<sup>2</sup>

Ladrillo = 90 kg/m<sup>2</sup>

Teja andina = 15kg/m<sup>2</sup>

**CM = 0.21Tn/m<sup>2</sup>**

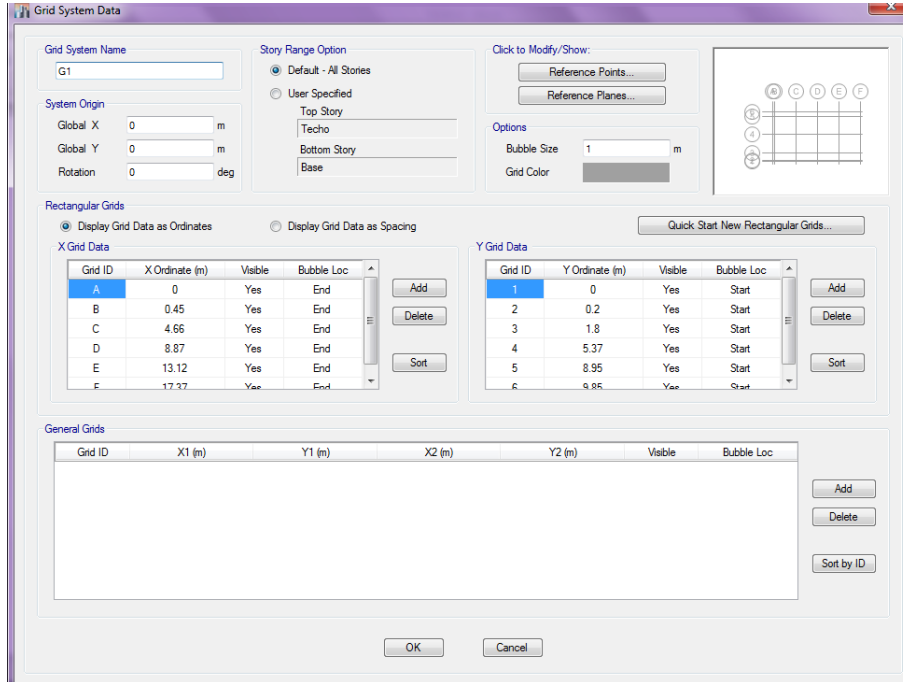
- *Cargas vivas:*

Teja andina = 0.05 Tn/m<sup>2</sup> (Según E0.20, artículo 7.1)

#### 4.4. Modelación del edificio empotrado.

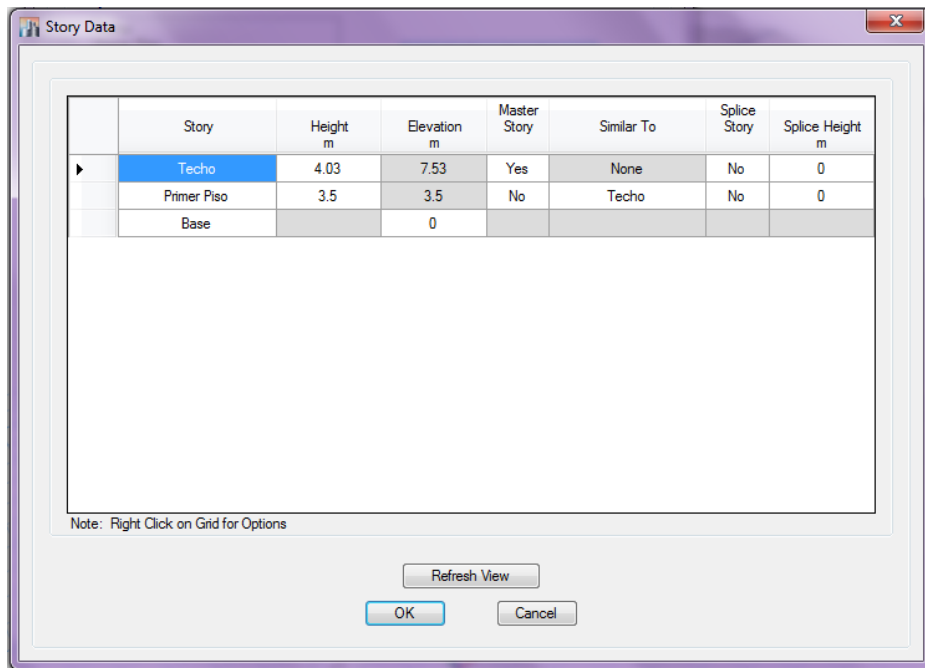
##### 4.4.1. Módulo “B”

Figura N° 4.4. Edición de ejes en la dirección “X” e “Y”.



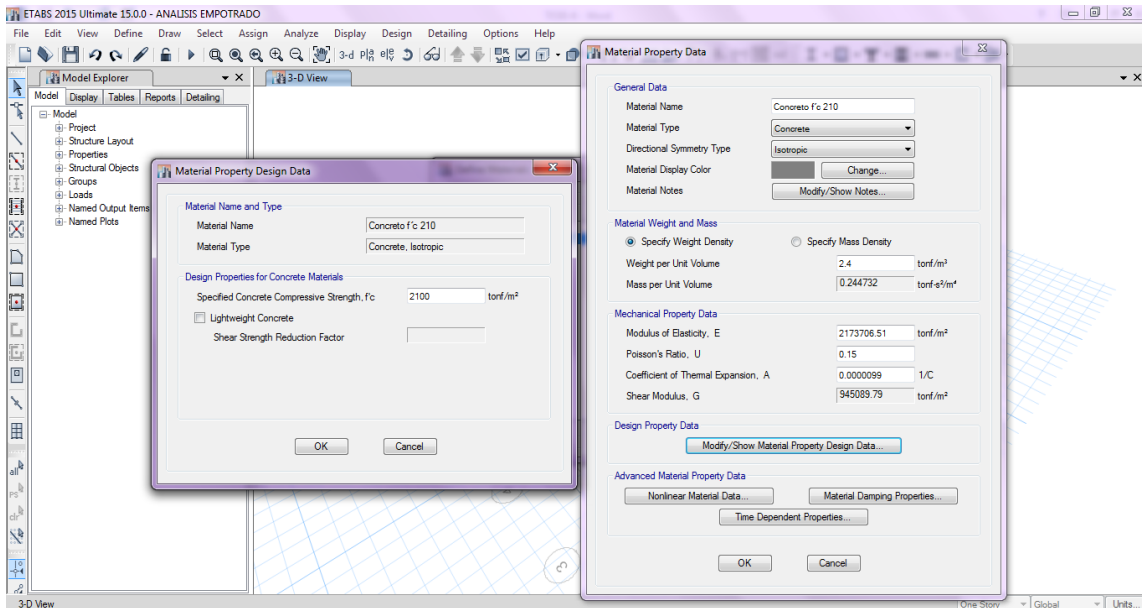
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.5. Edición de pisos.



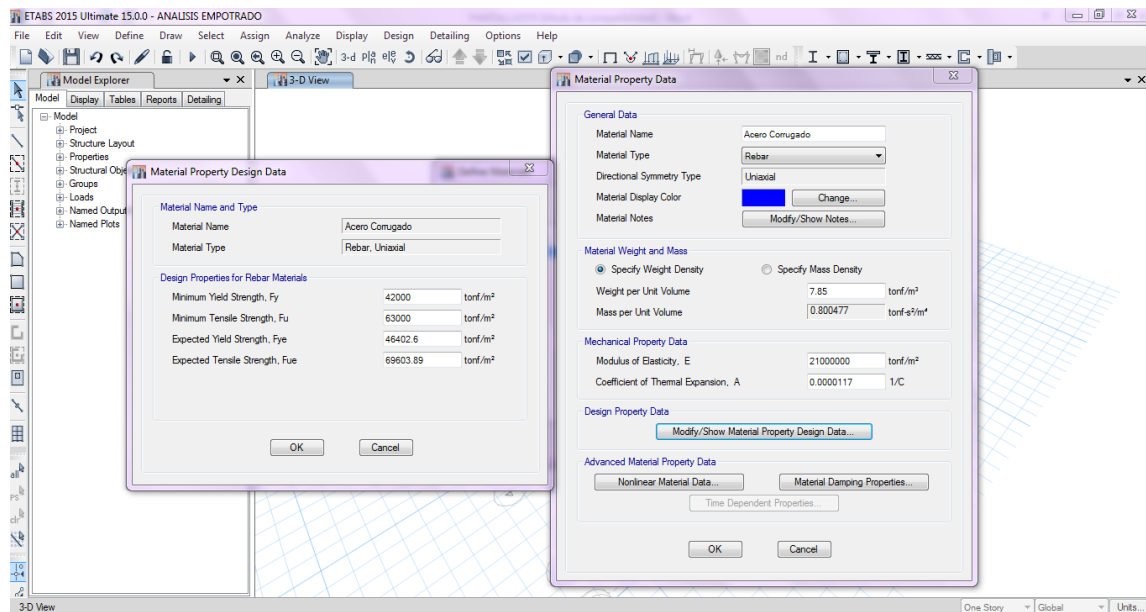
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.6.** Definición de las propiedades del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .



Fuente: ETABS V.15, 2015.

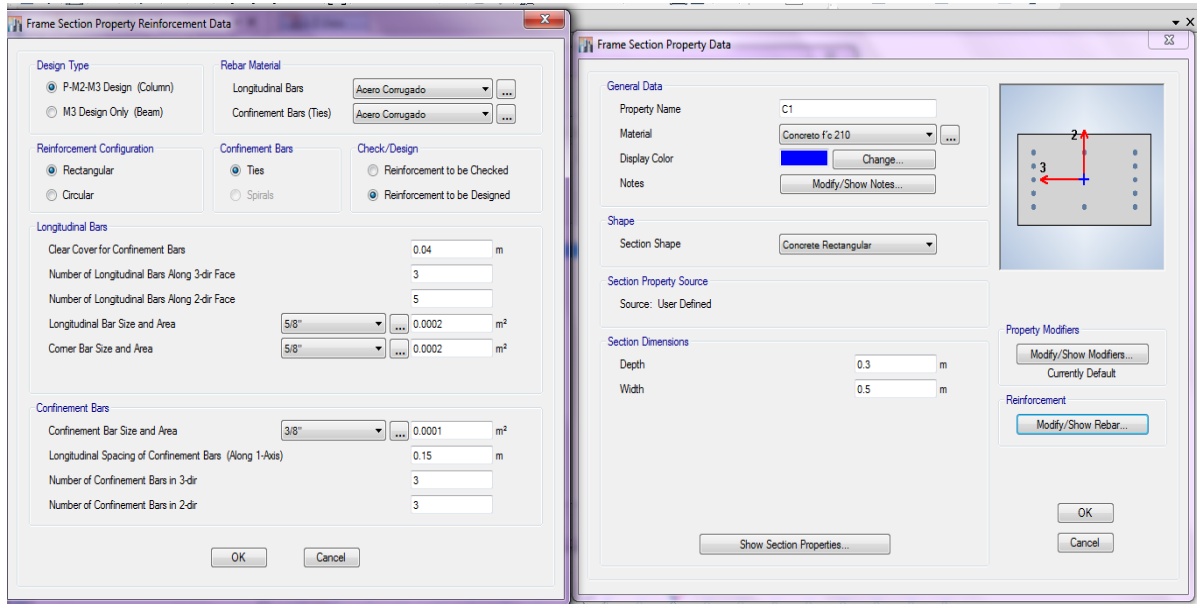
**Figura N° 4.7.** Definición de las propiedades del acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .



Fuente: ETABS V.15, 2015.

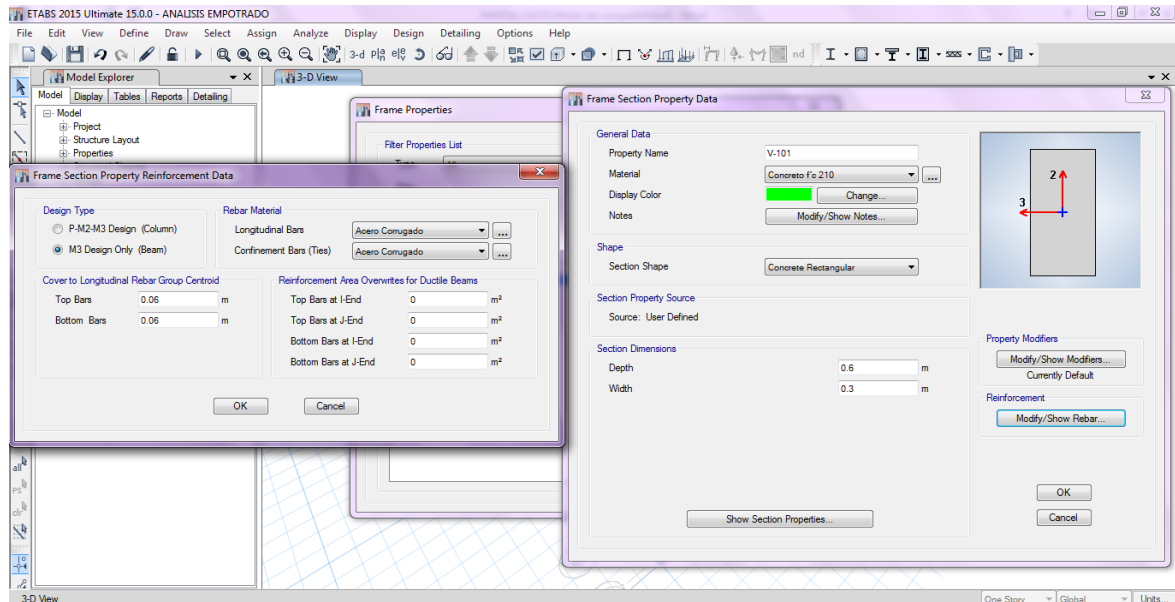


Figura N° 4.8. Definición de columnas.



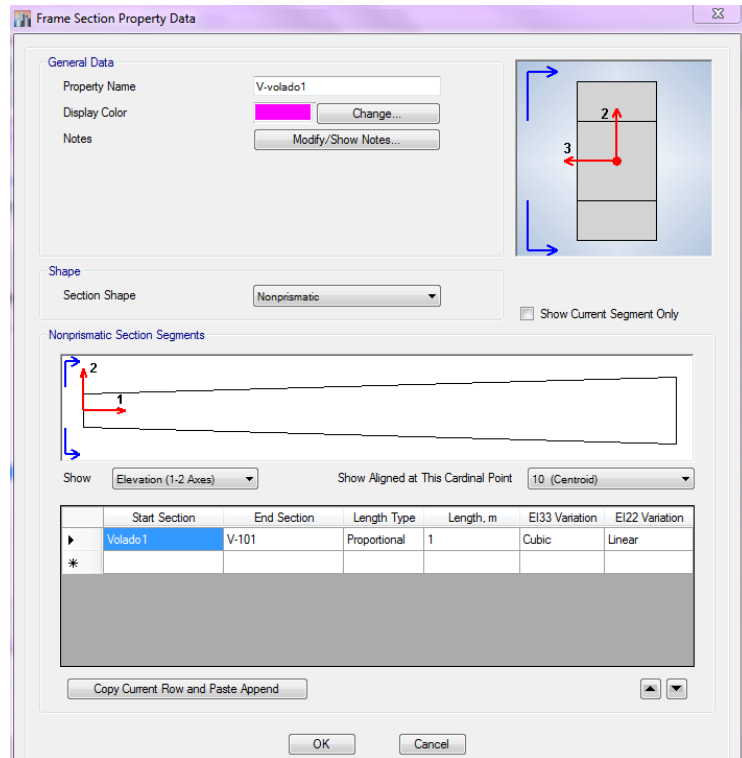
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.9. Definición de vigas.



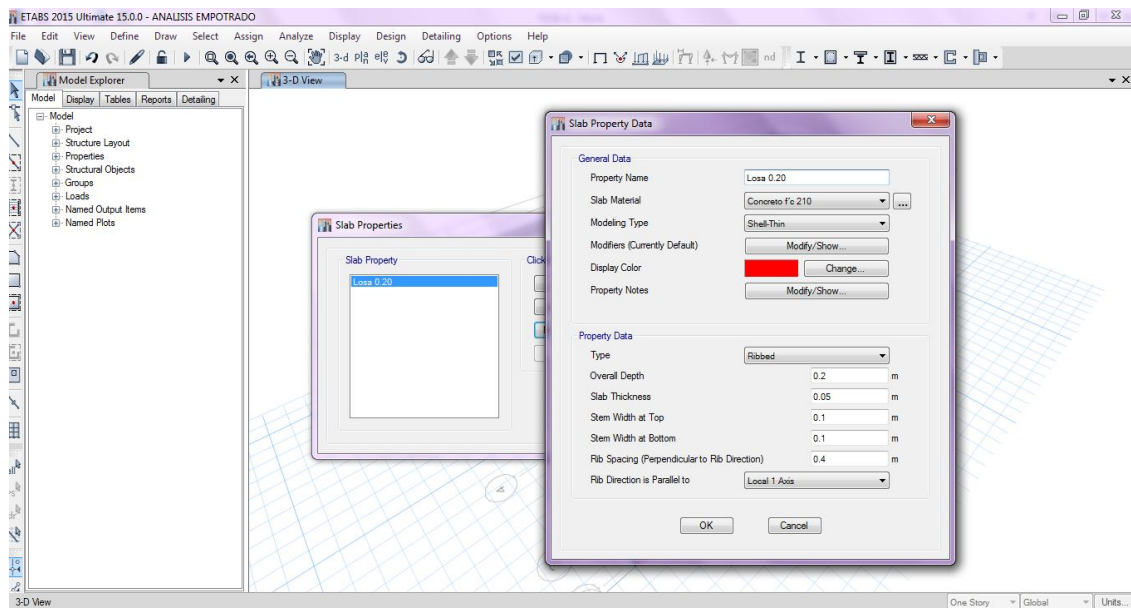
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.10.** Definición de vigas de sección variable.



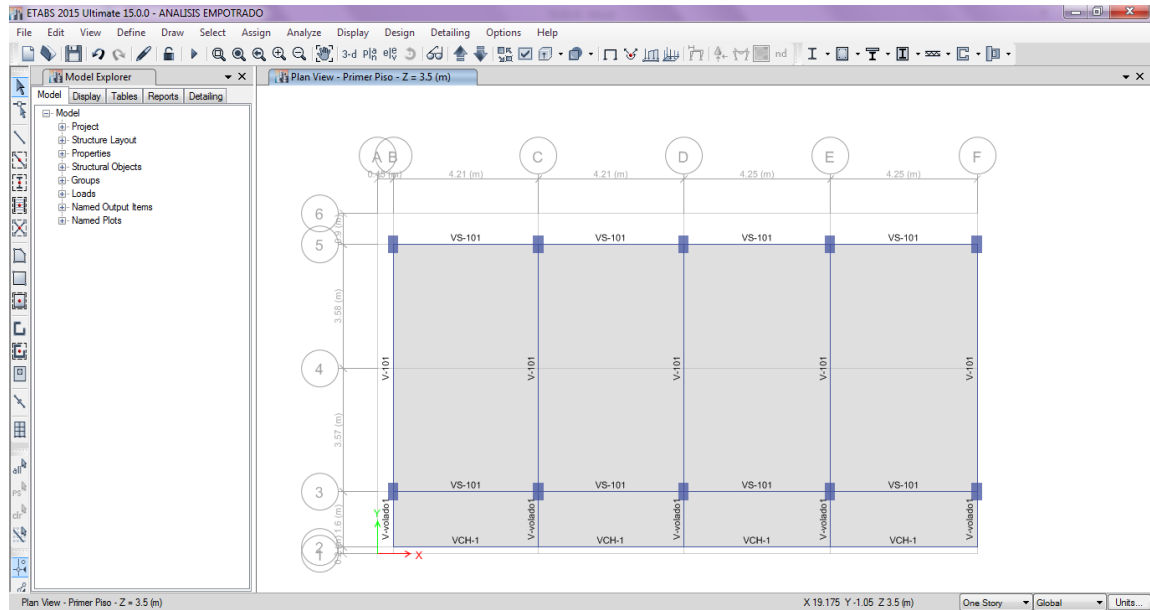
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.11.** Definición de losa aligerada.



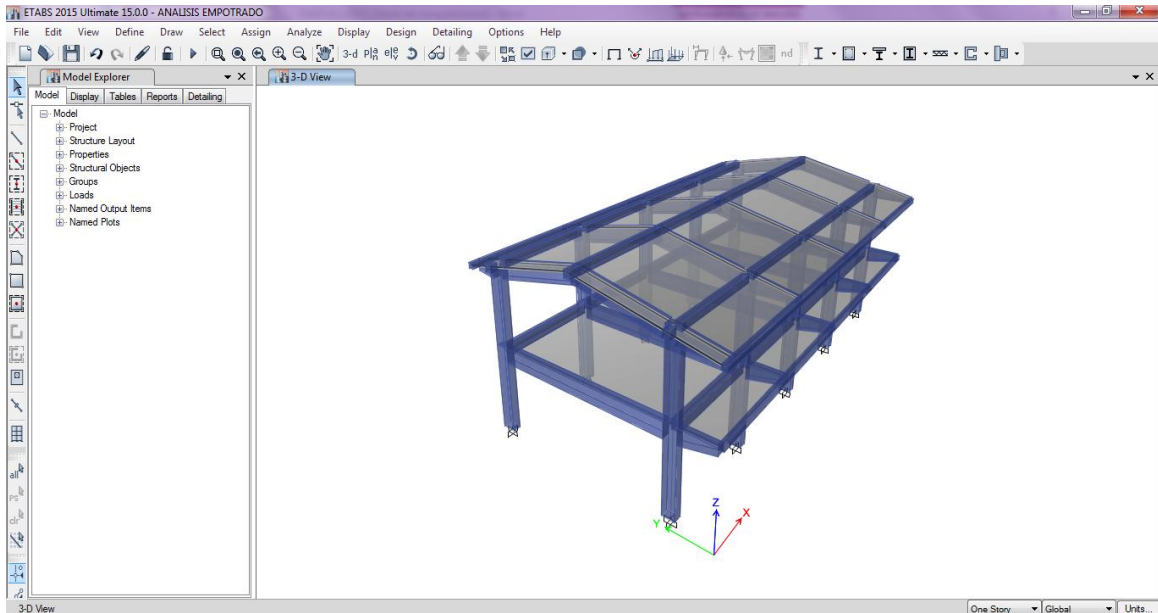
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.12.** Vista en planta de modelo final.



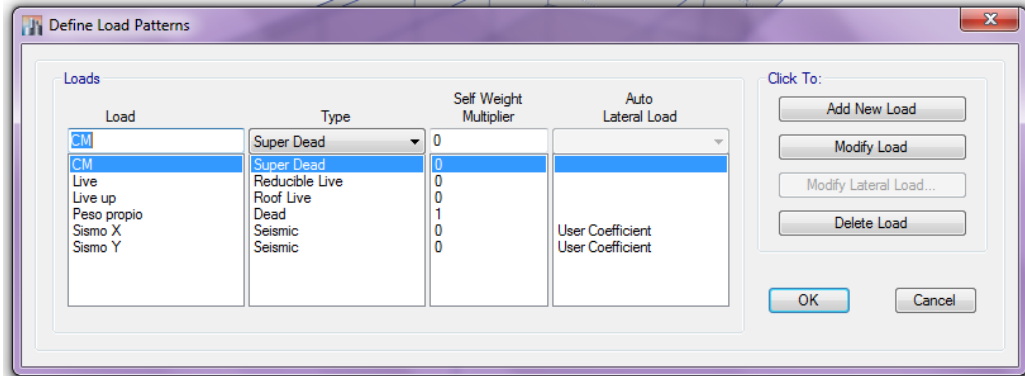
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.13.** Vista en 3D del edificio con base empotrada.



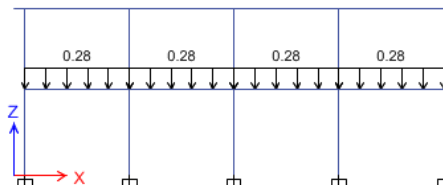
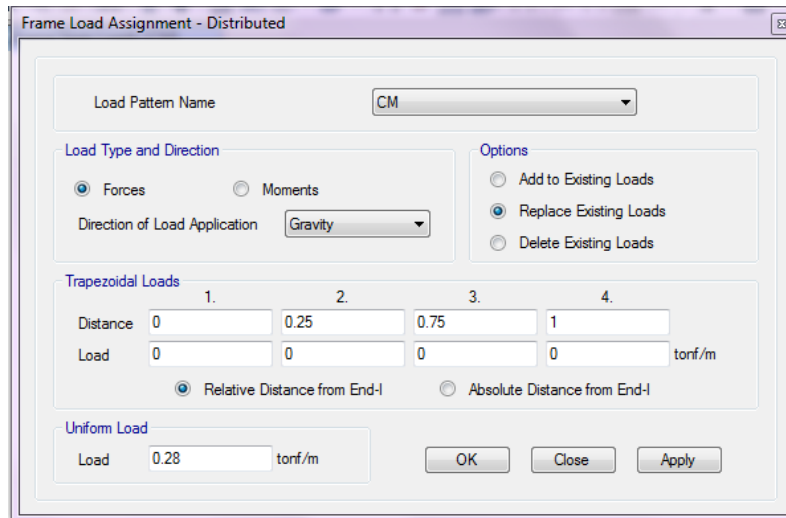
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.14.** Definición de patrones de carga.



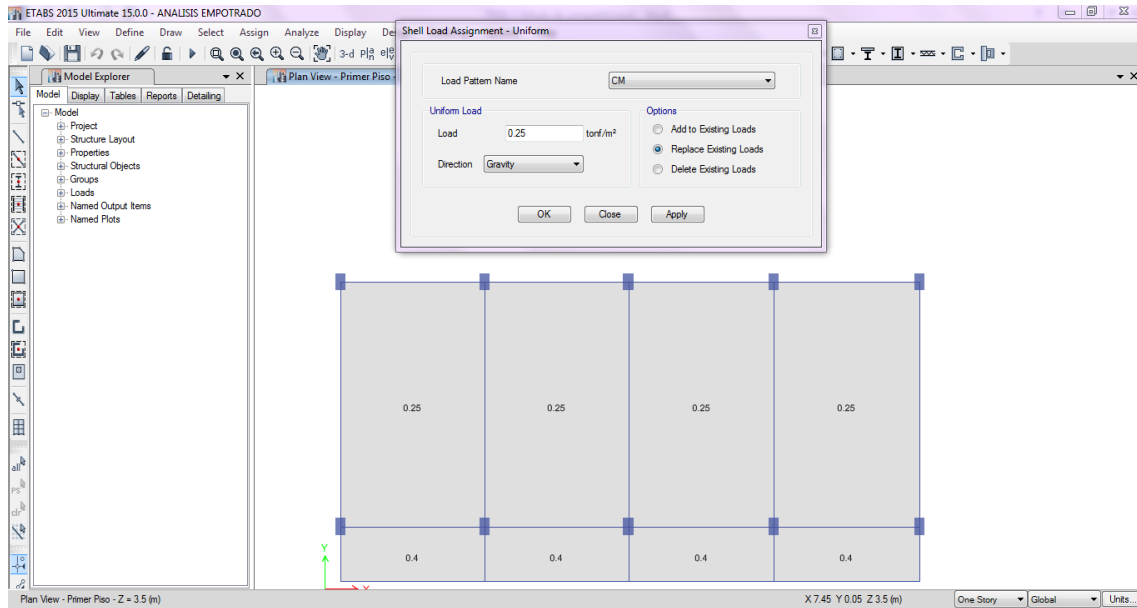
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.15.** Asignación de cargas a las vigas.



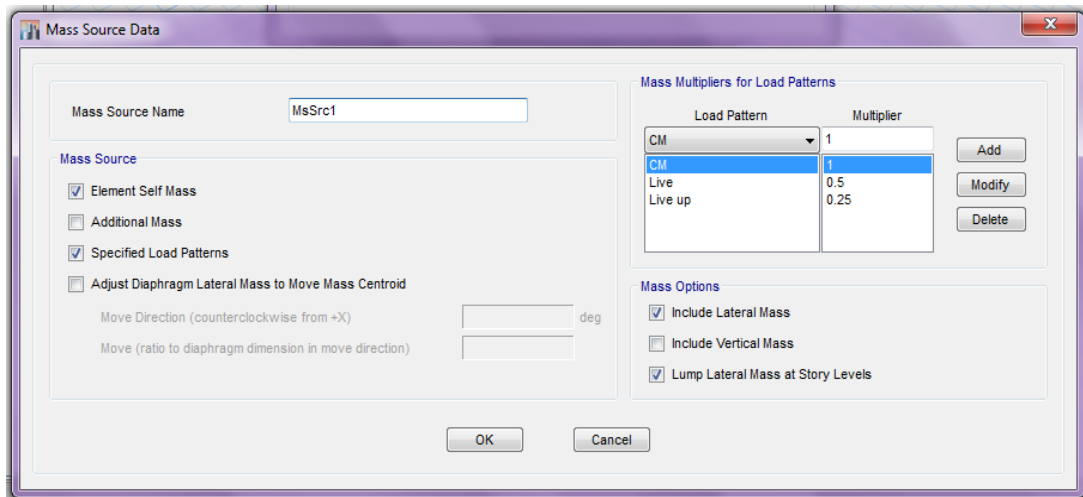
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.16.** Asignación de cargas sobre las losas de entrepiso.



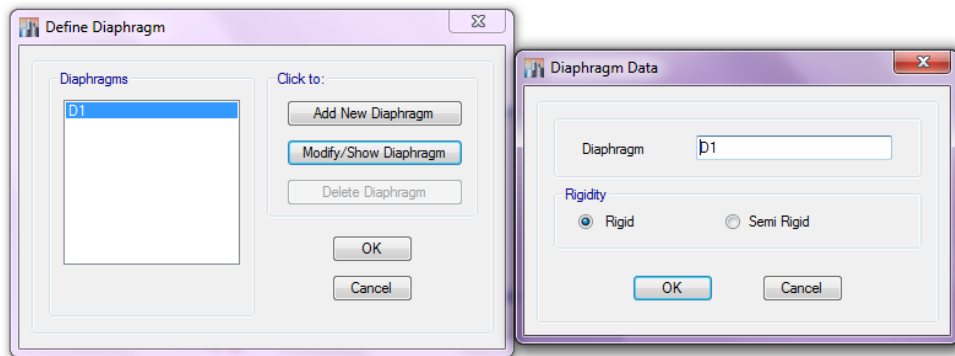
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.17.** Definición de peso sísmico de la estructura.



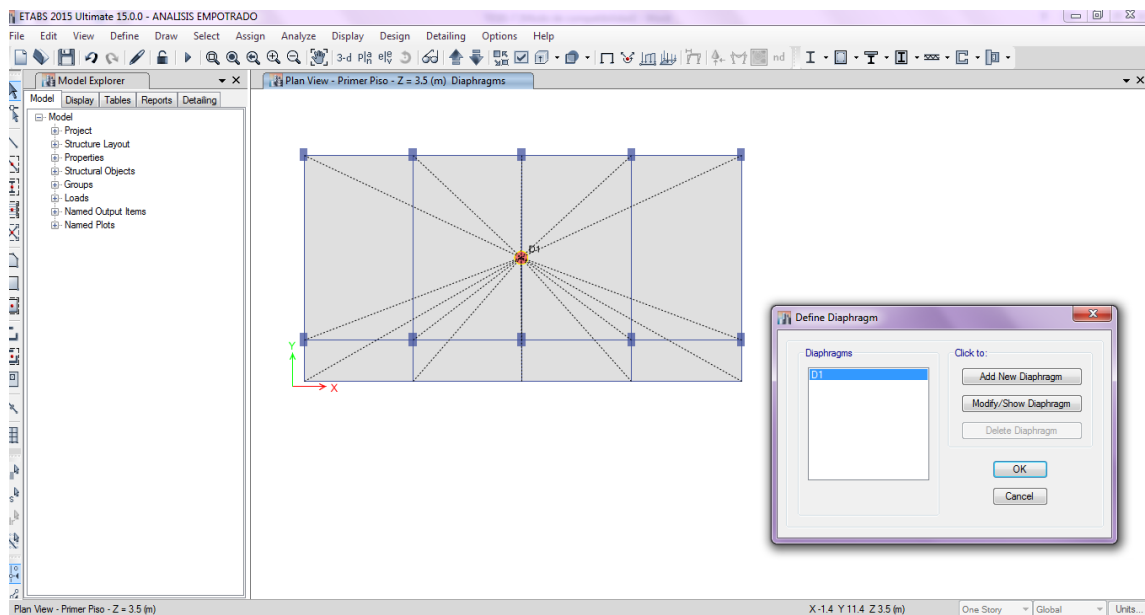
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.18.** Definición de diafragmas rígidos.



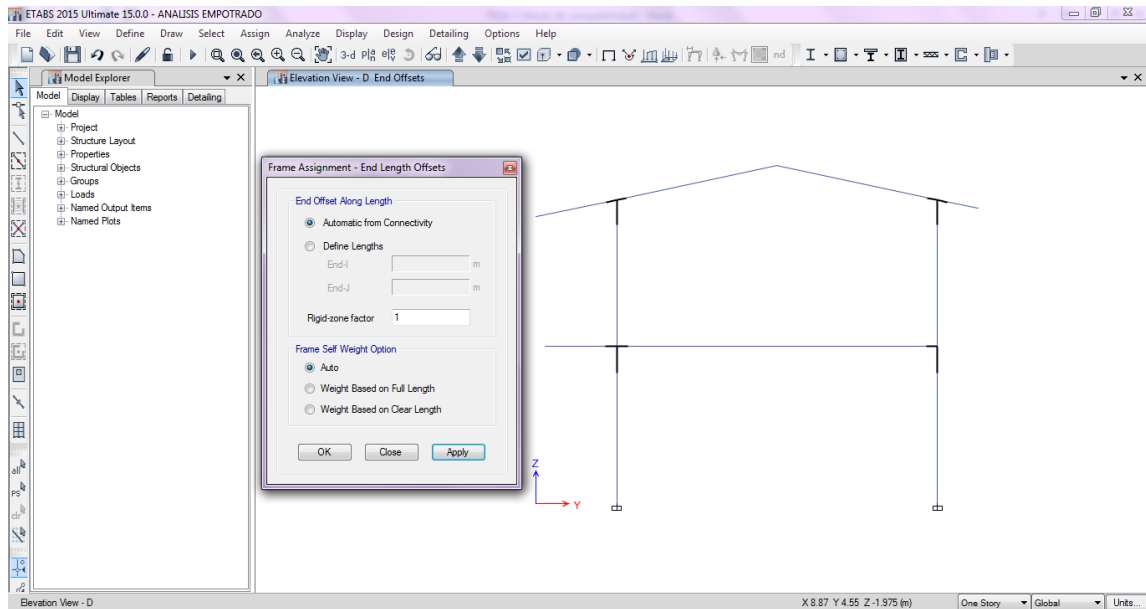
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.19.** Asignación de diafragmas rígidos.



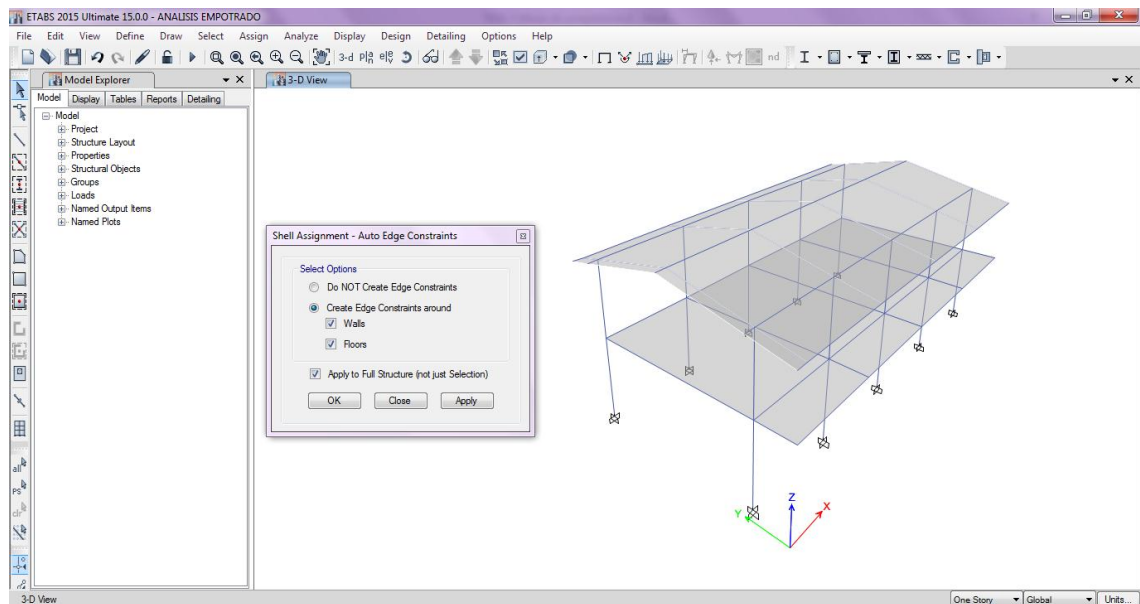
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.20. Asignación de brazos rígidos.



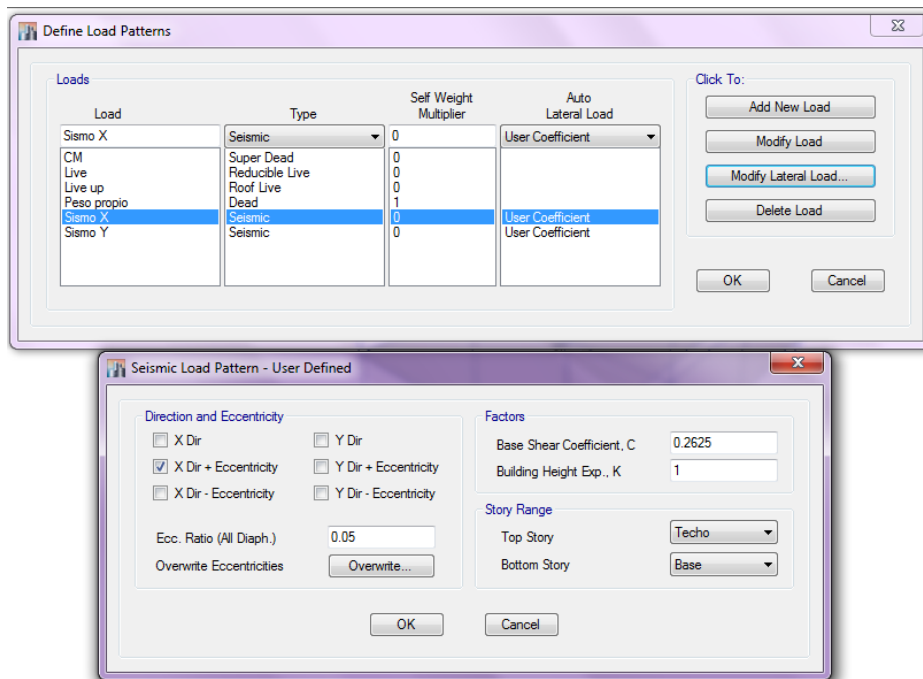
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.21. Asignación de automesh (división interna de elementos estructurales).



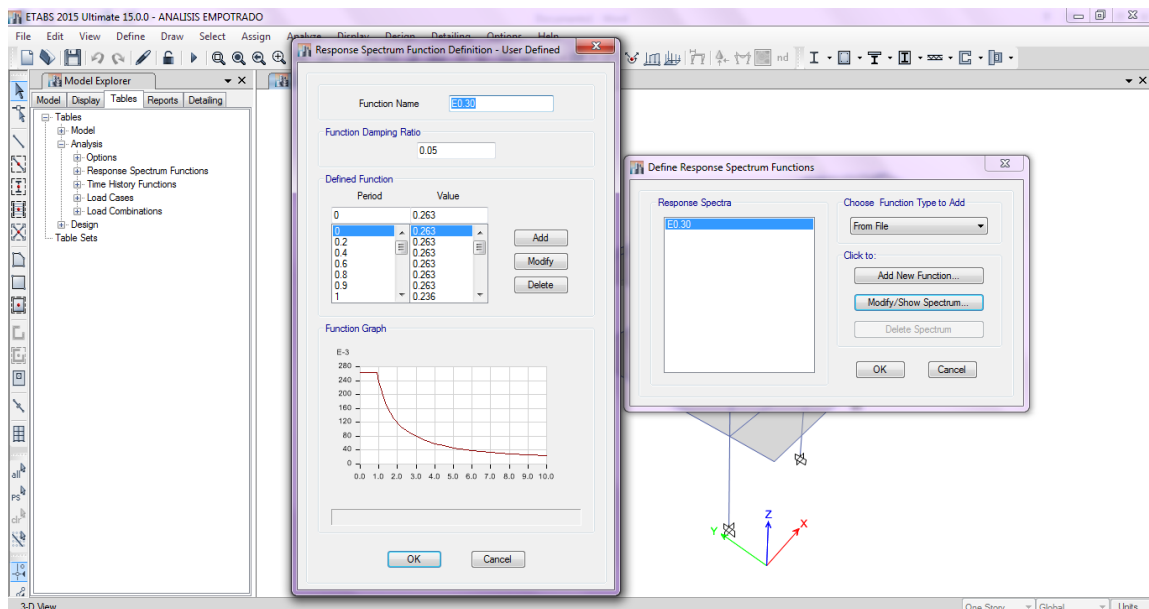
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.22.** Definición de fuerzas sísmicas estáticas.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

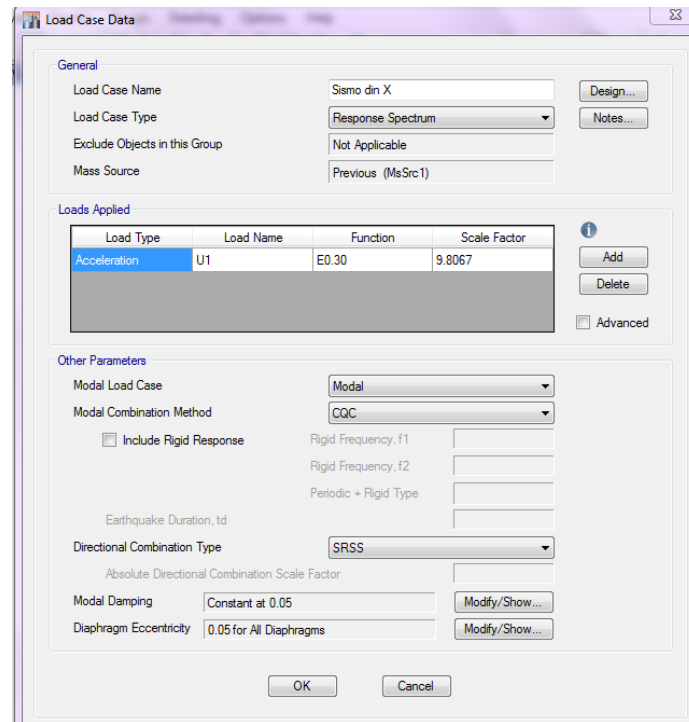
**Figura N° 4.23.** Definición de espectro de diseño.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

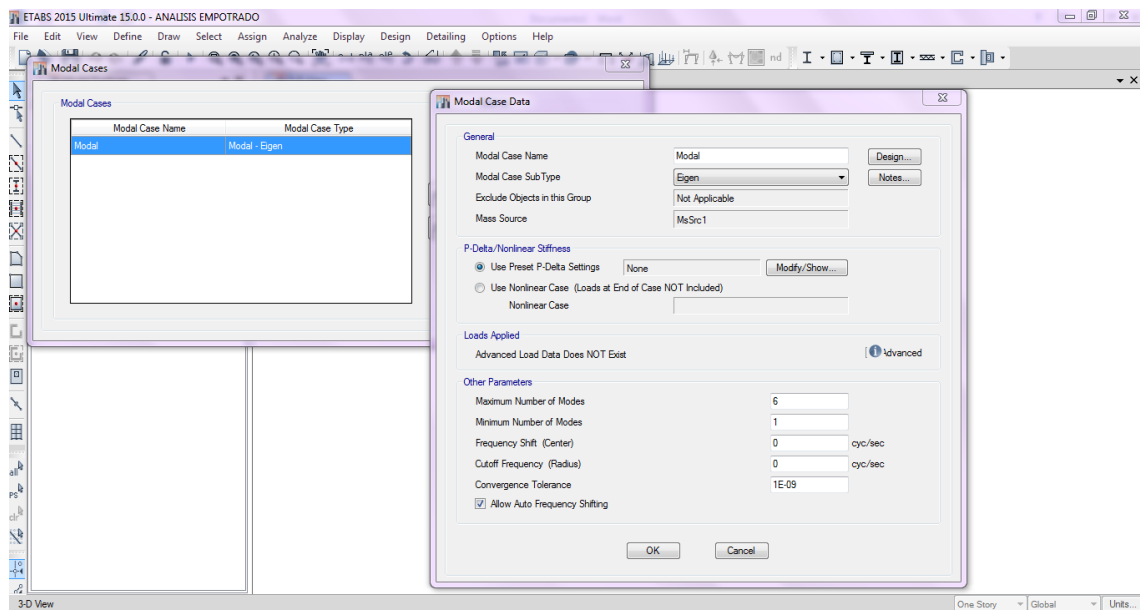


**Figura N° 4.24.** Definición de fuerzas sísmicas dinámicas.



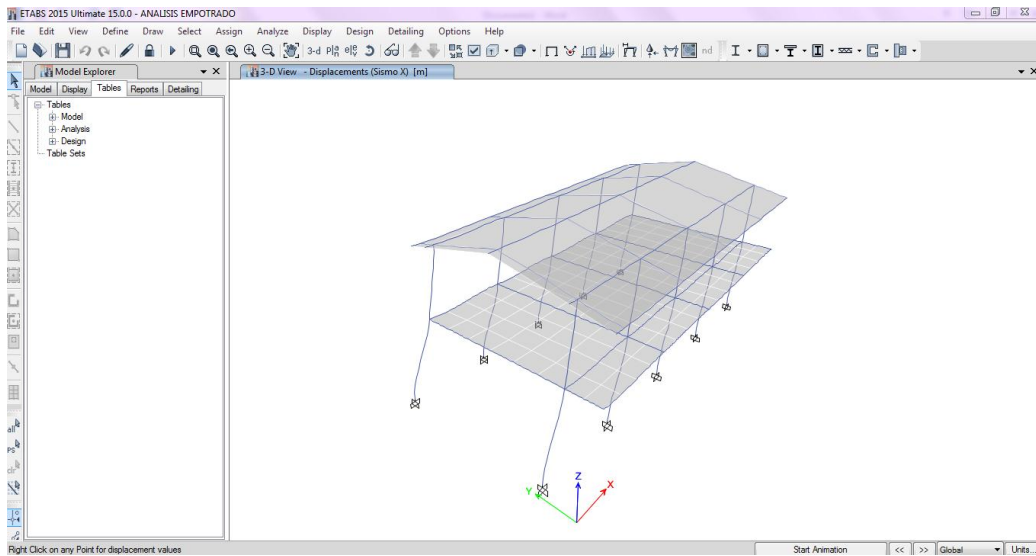
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.25.** Configuración de los modos de vibración.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

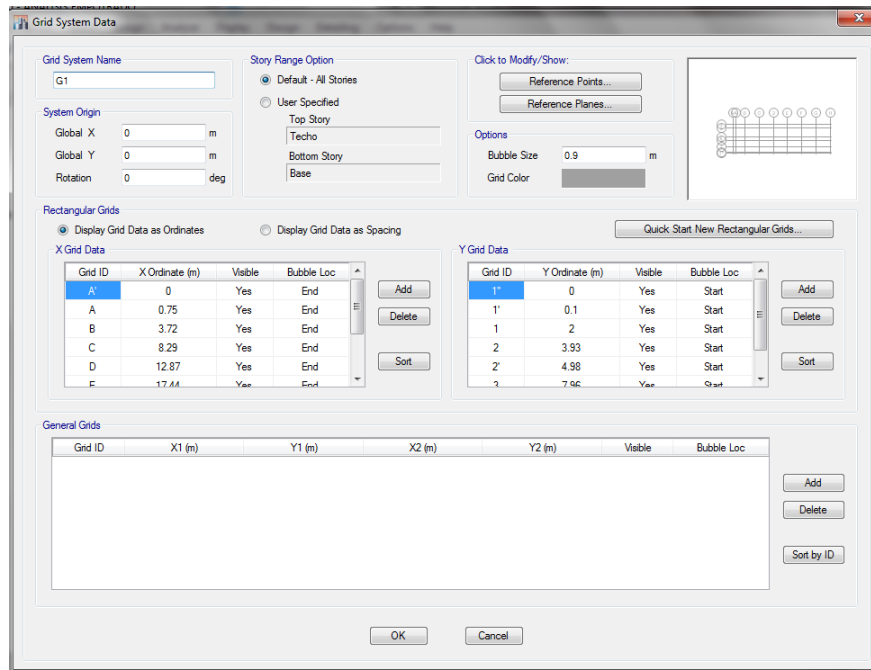
Figura N° 4.26. Desplazamiento de la estructura por sismo estático en "X".



Fuente: ETABS V.15, 2015.

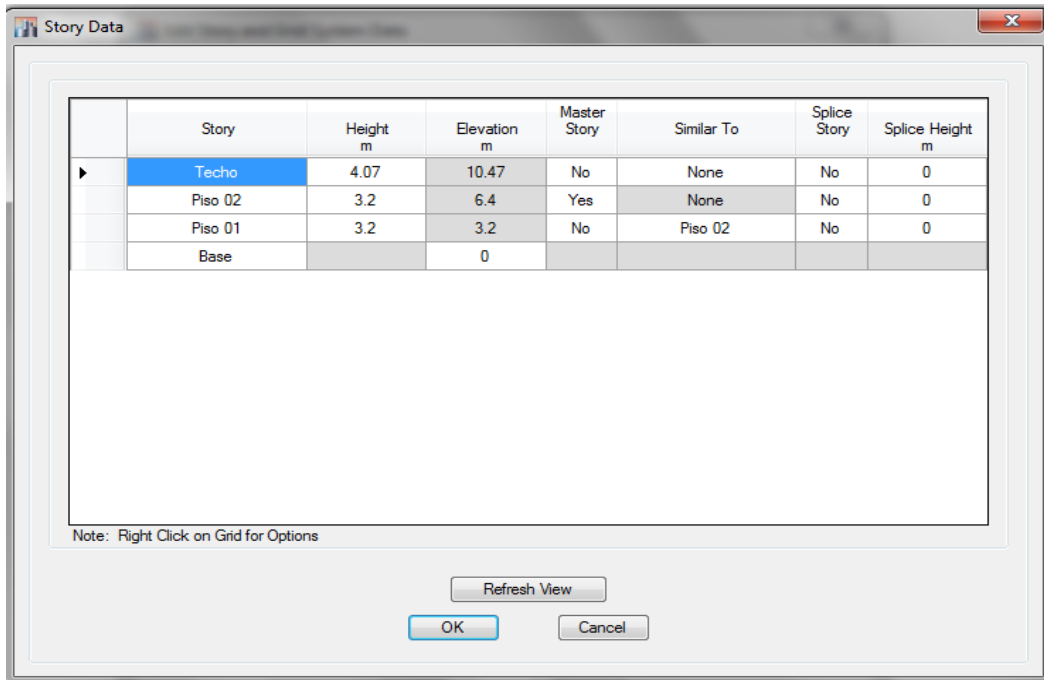
#### 4.4.2. Módulo "C"

Figura N° 4.27. Edición de ejes en la dirección "X" e "Y".



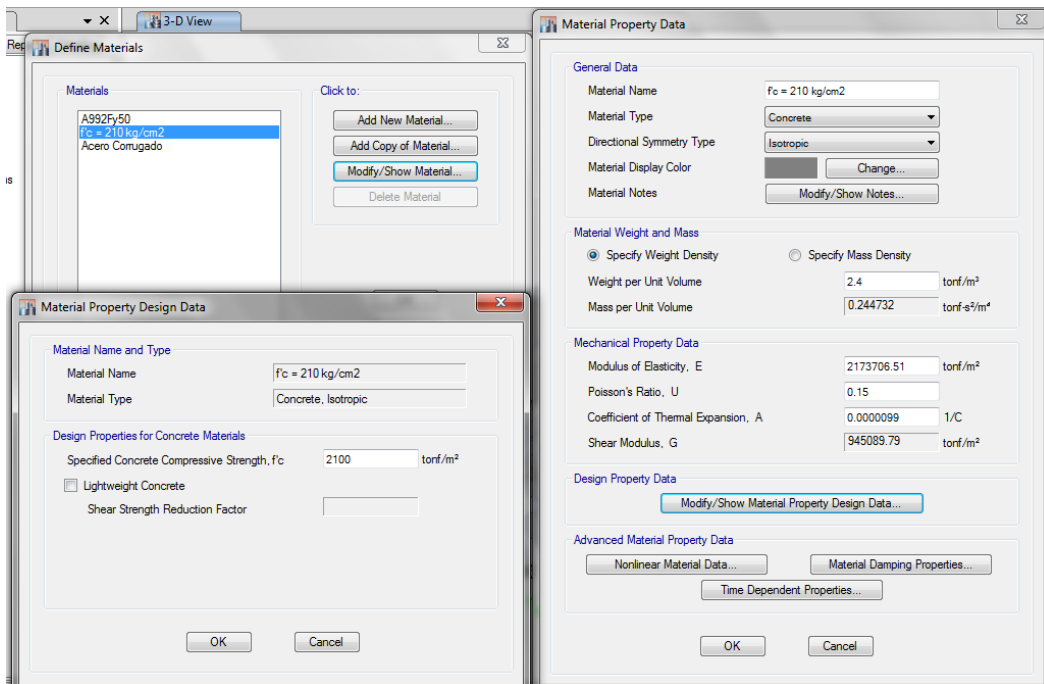
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.28.** Edición de pisos.



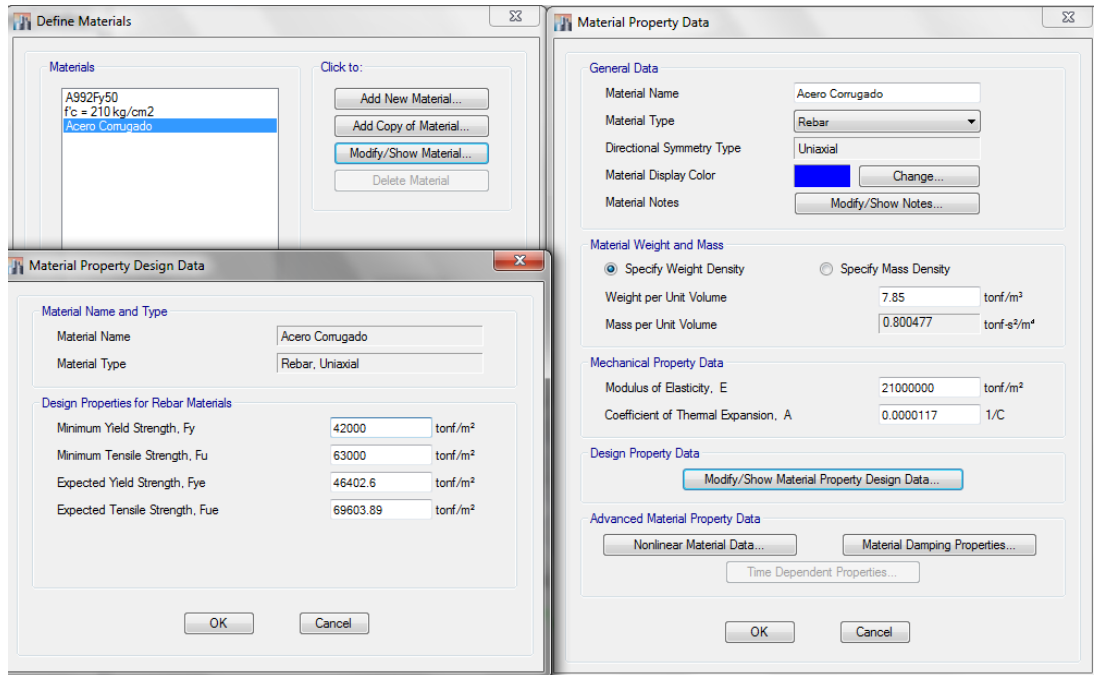
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.29.** Definición de las propiedades del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .



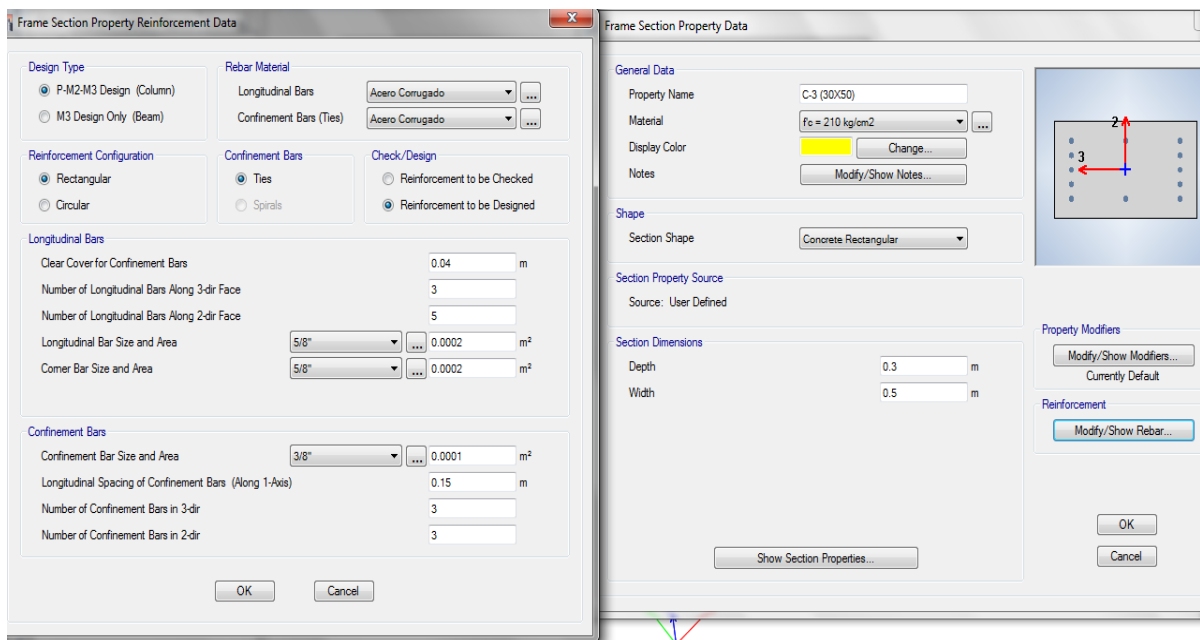
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.30. Definición de las propiedades del acero de refuerzo  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .



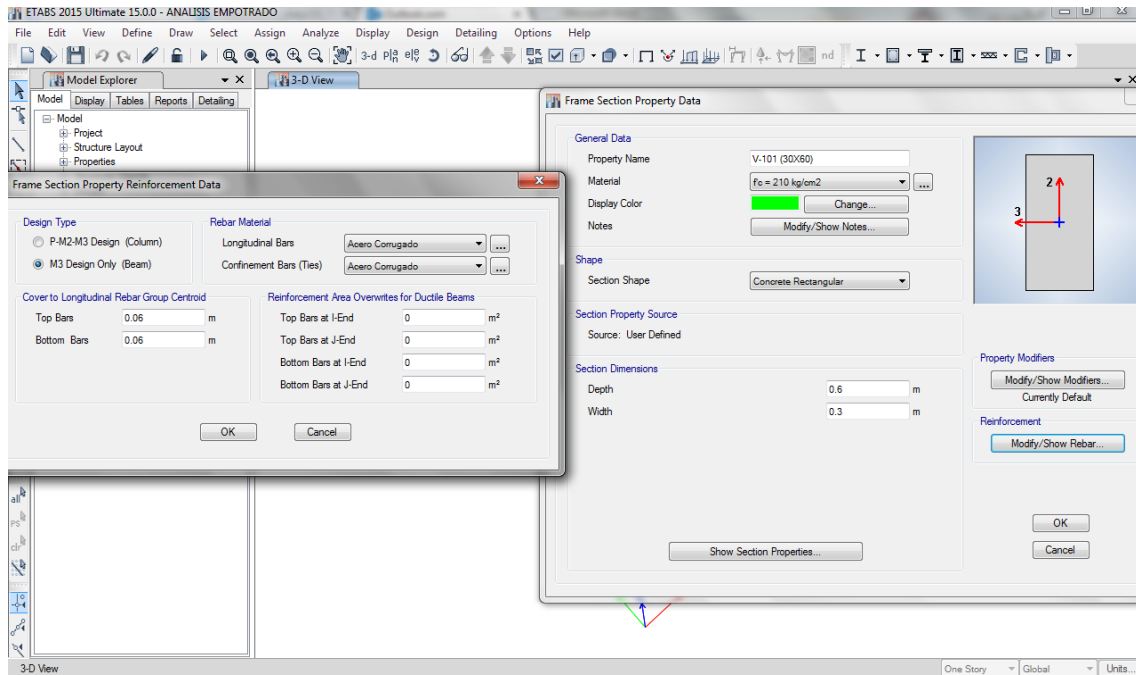
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.31. Definición de columnas.



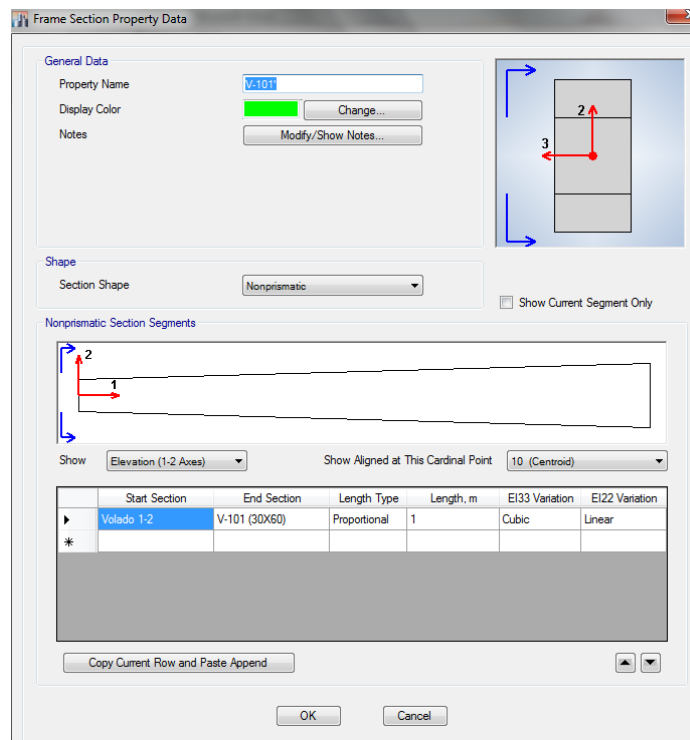
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.32.** Definición de vigas.



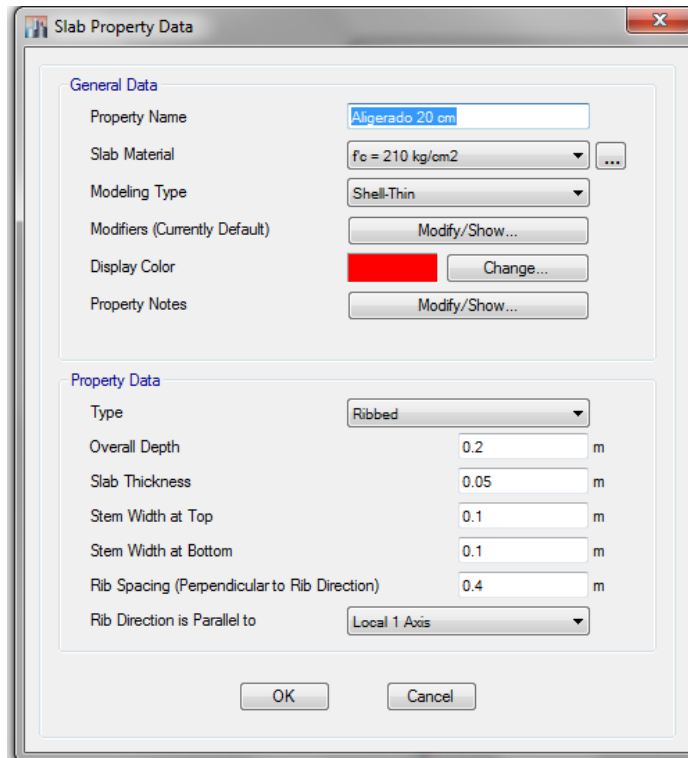
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.33.** Definición de vigas de sección variable.



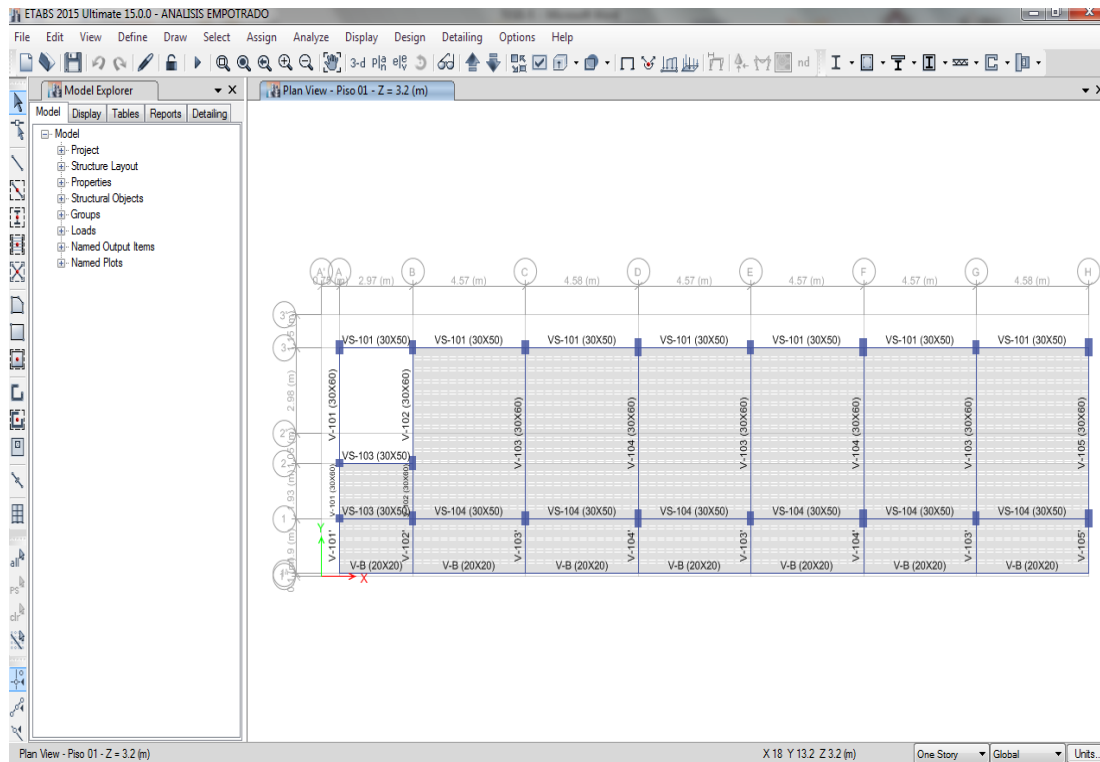
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.34. Definición de losa aligerada.



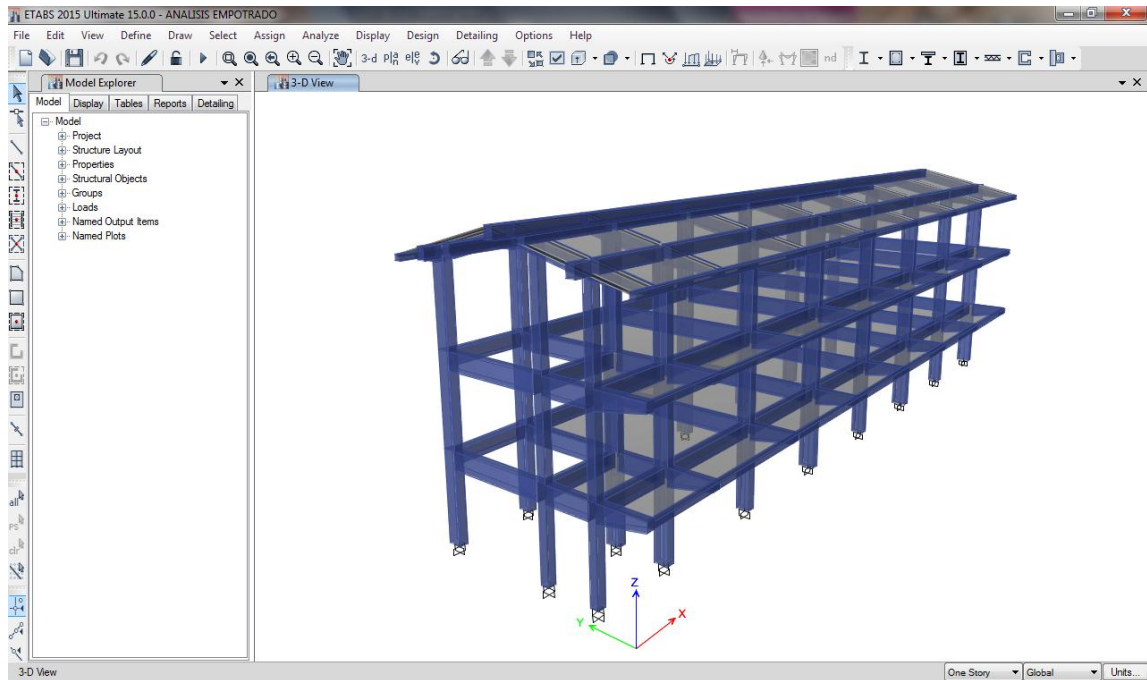
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.35. Vista en planta de modelo final.



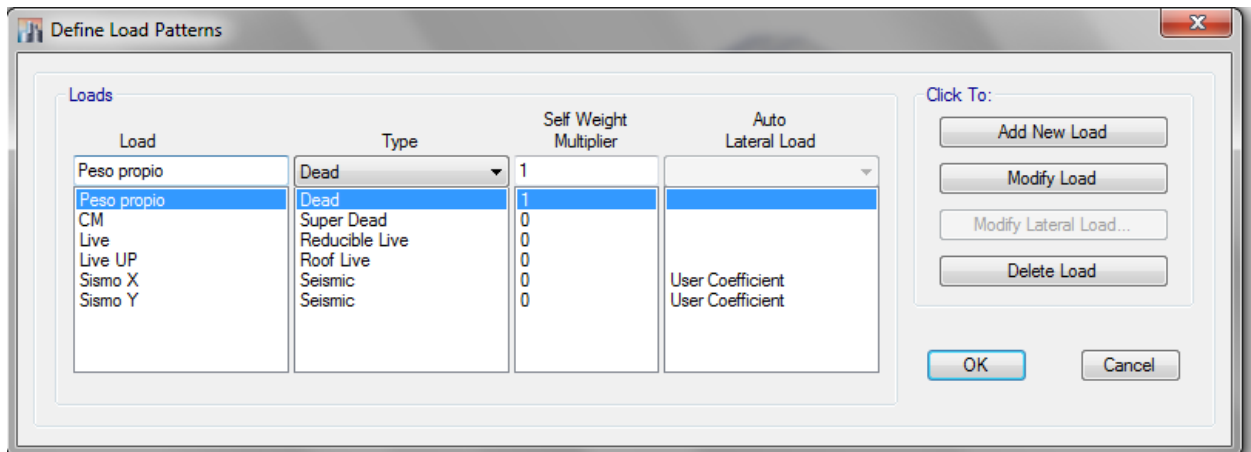
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.36.** Vista en 3D del edificio con base empotrada.



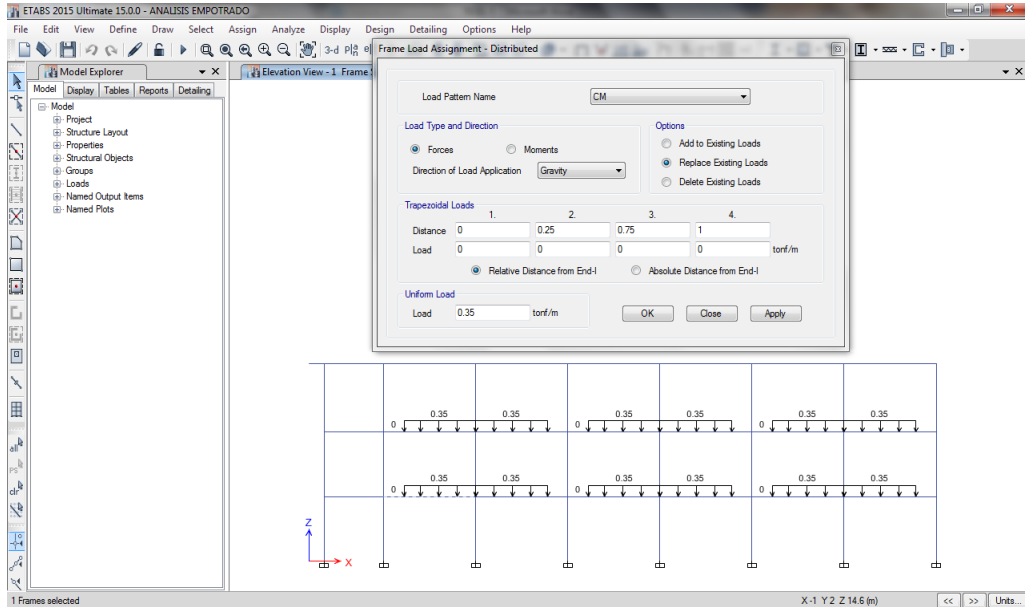
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.37.** Definición de patrones de carga.



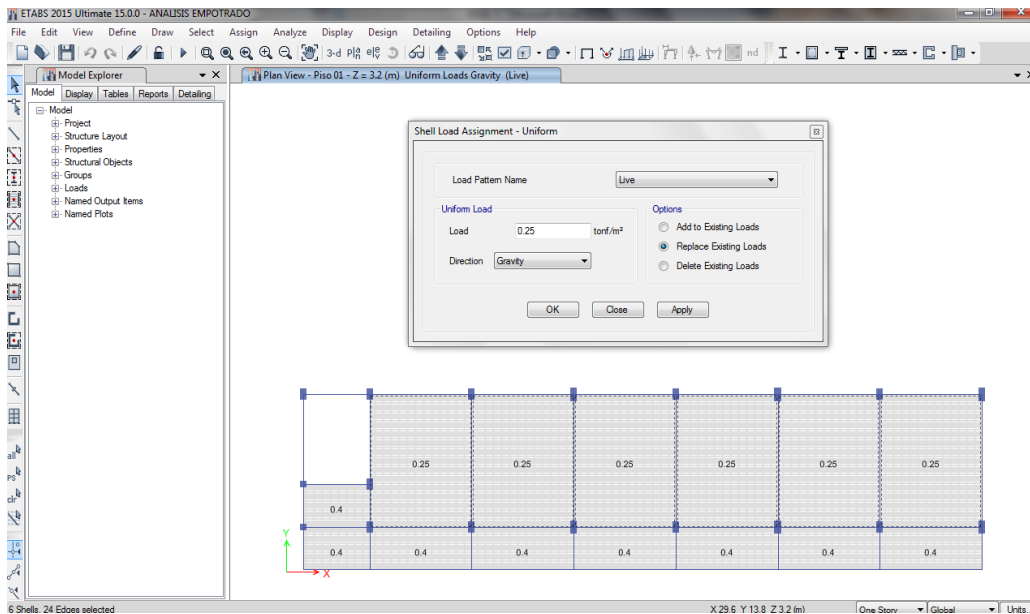
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.38. Asignación de cargas a las vigas.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

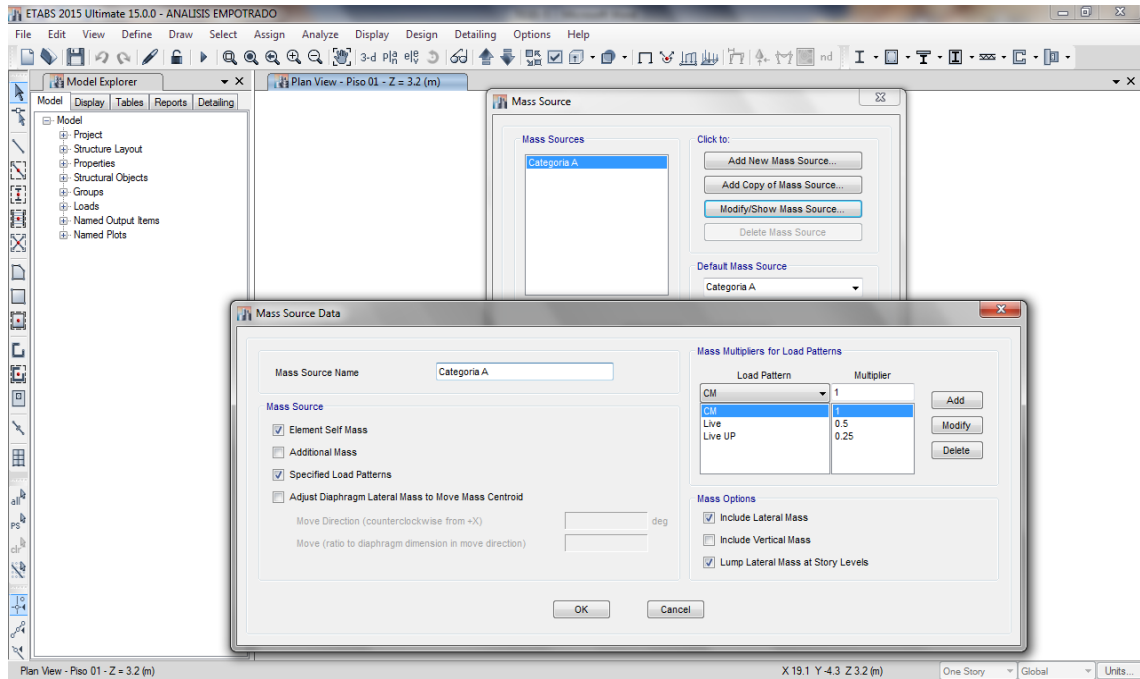
Figura N° 4.39. Asignación de cargas sobre las losas de entrepiso.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

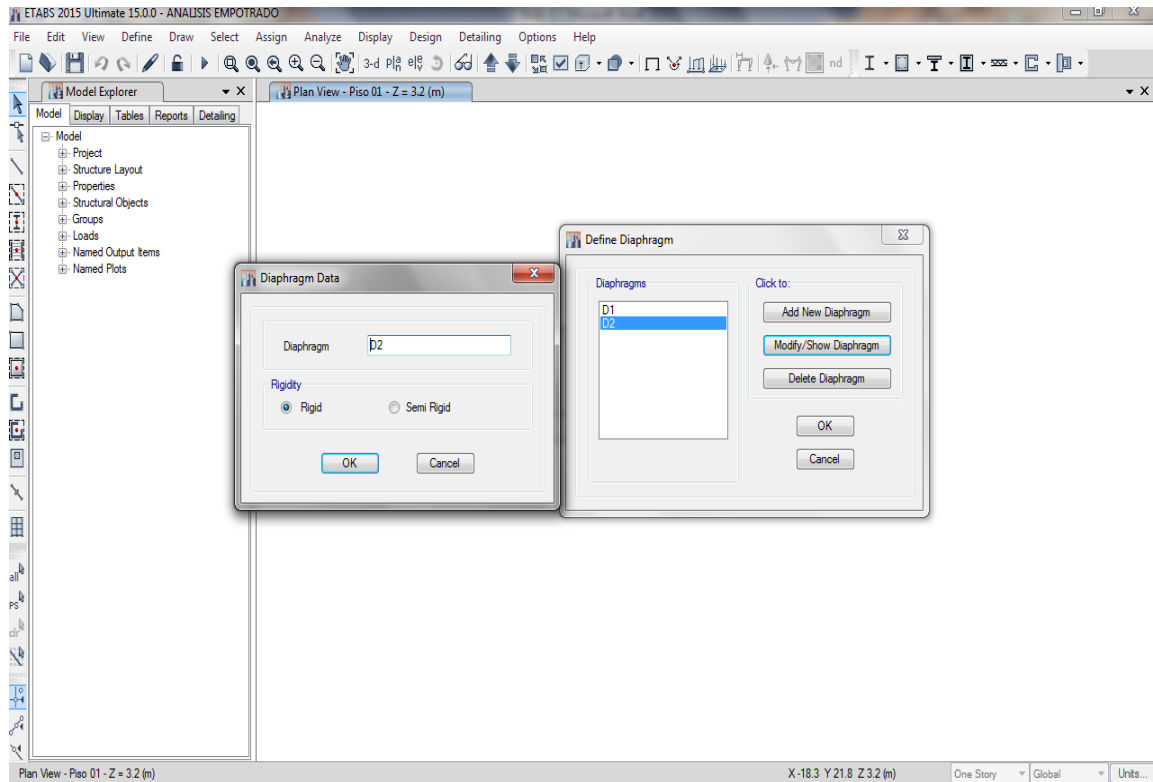


**Figura N° 4.40.** Definición de peso sísmico de la estructura.



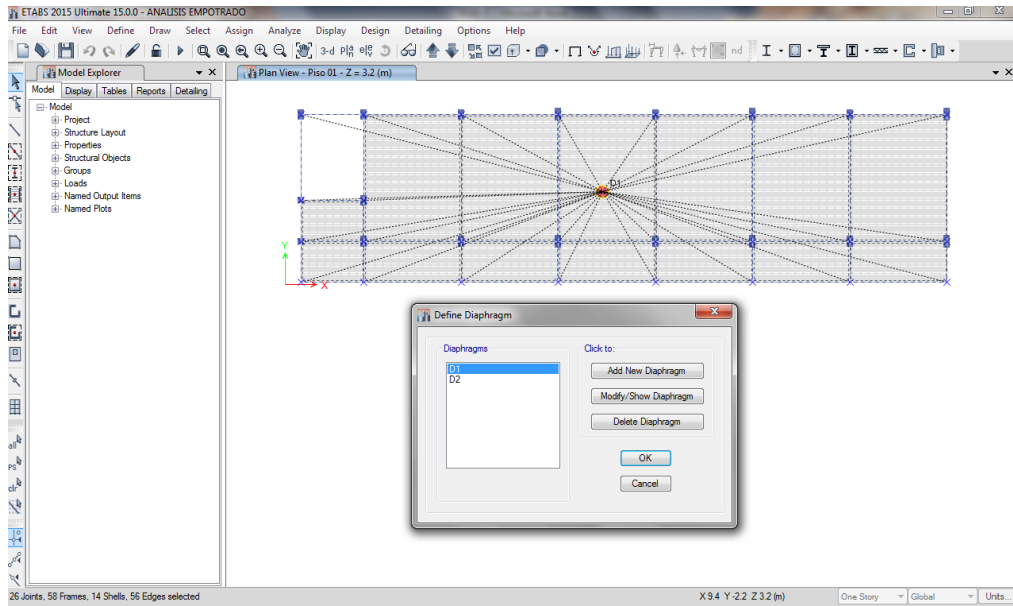
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.41.** Definición de diafragmas rígidos.



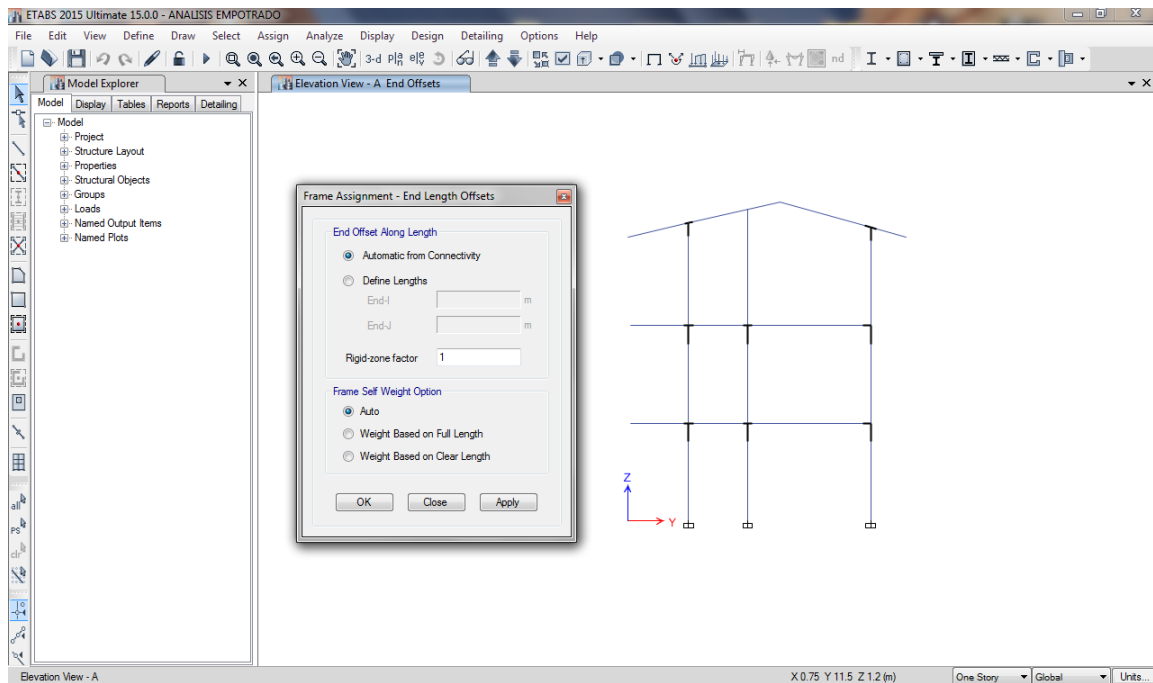
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.42. Asignación de diafragmas rígidos.



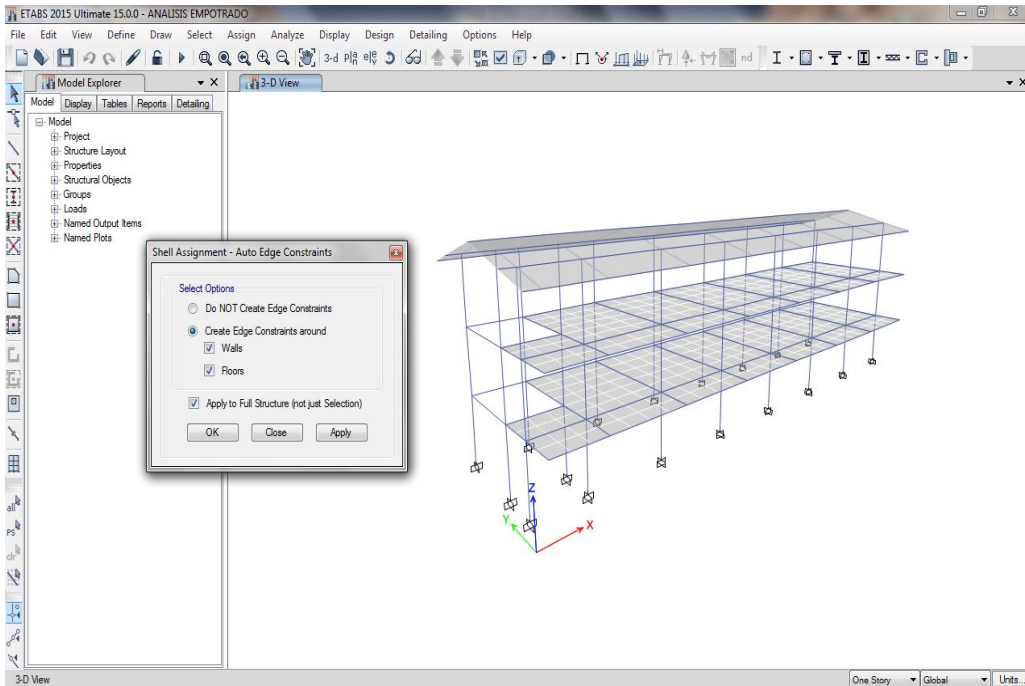
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.43. Asignación de brazos rígidos.



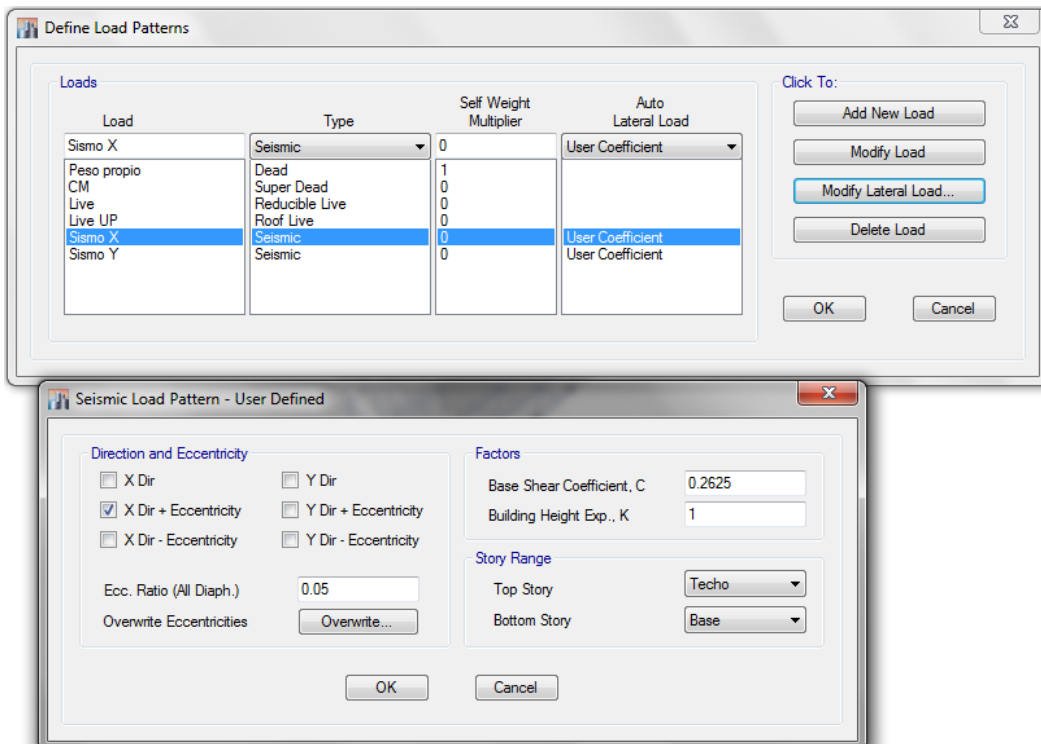
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.44.** Asignación de automesh (división interna de elementos estructurales).



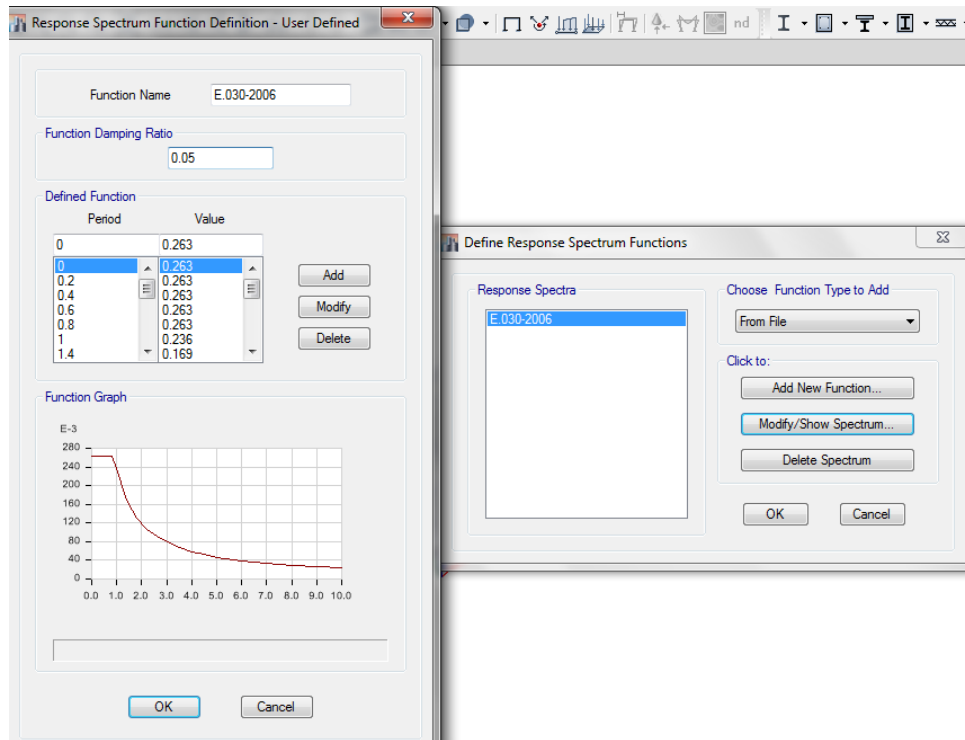
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.45.** Definición de fuerzas sísmicas estáticas.



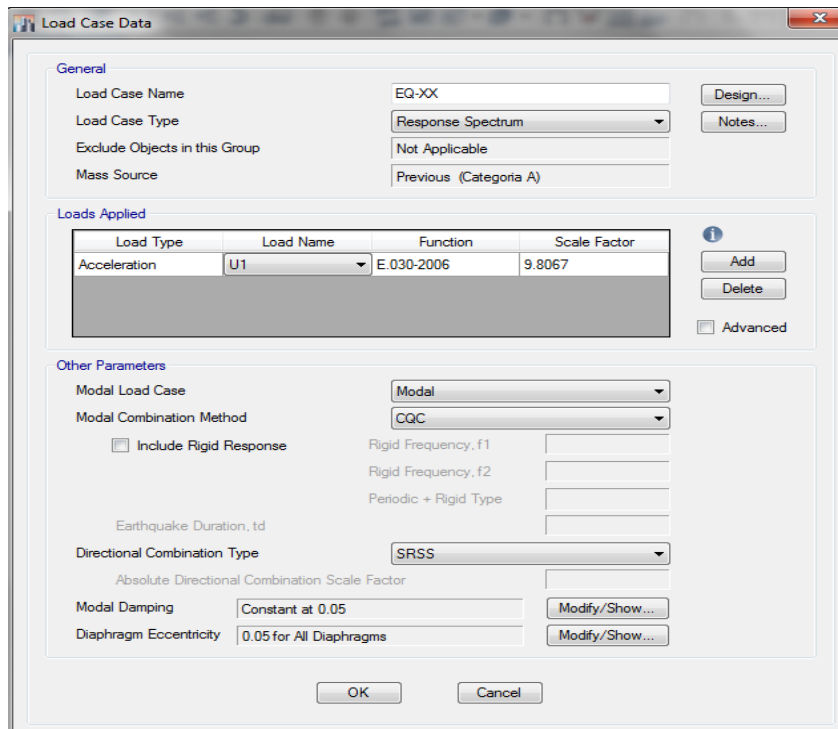
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.46.** Definición de espectro de diseño.



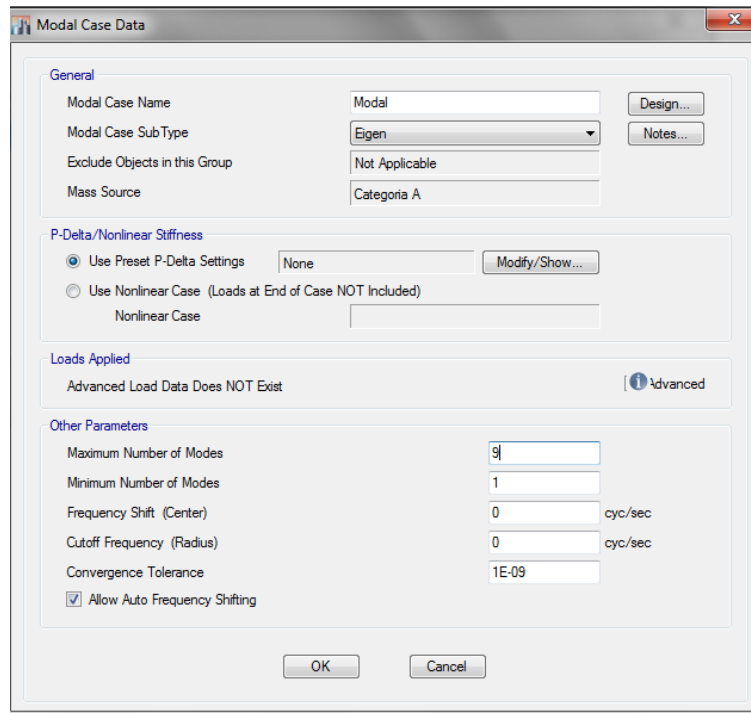
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.47.** Definición de fuerzas sísmicas dinámicas.



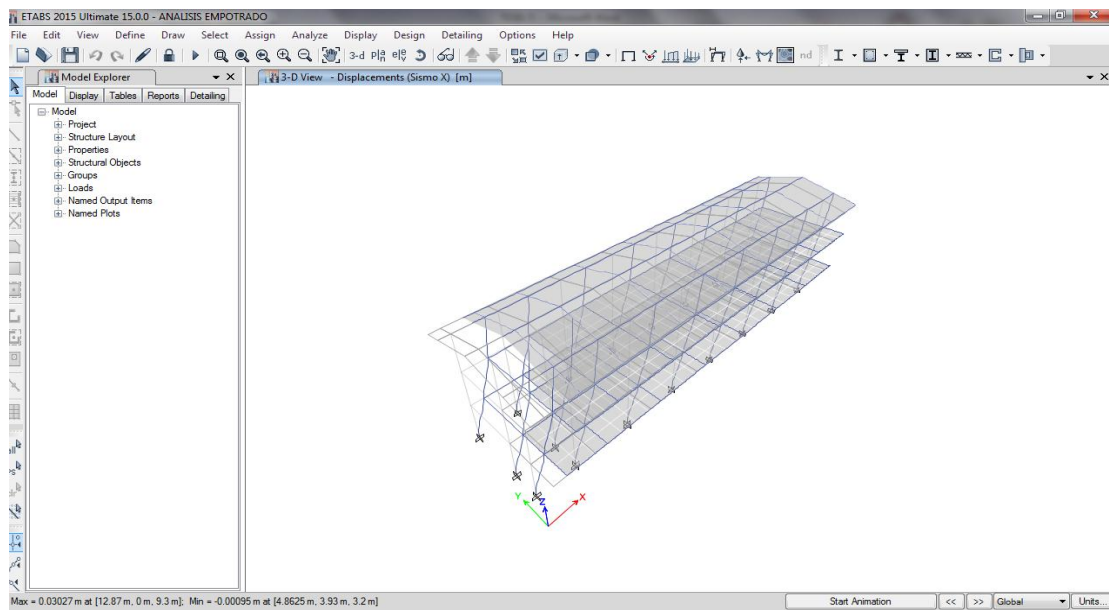
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.48.** Configuración de los modos de vibración.



Fuente: ETABS V.15, 2015.

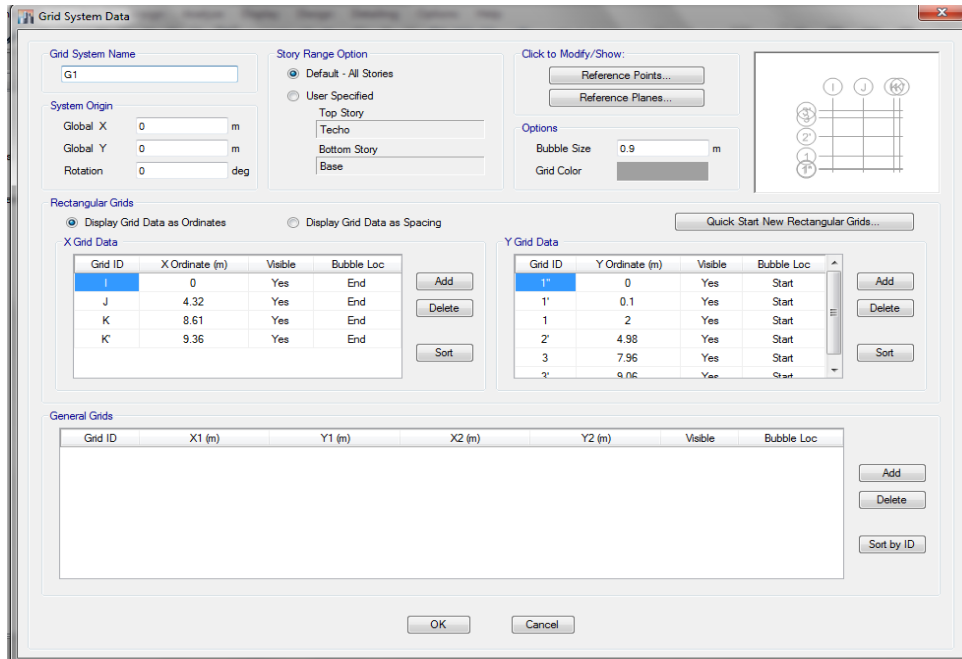
**Figura N ° 4.49.** Desplazamiento de la estructura por Sismo estático en "X".



Fuente: ETABS V.15, 2015.

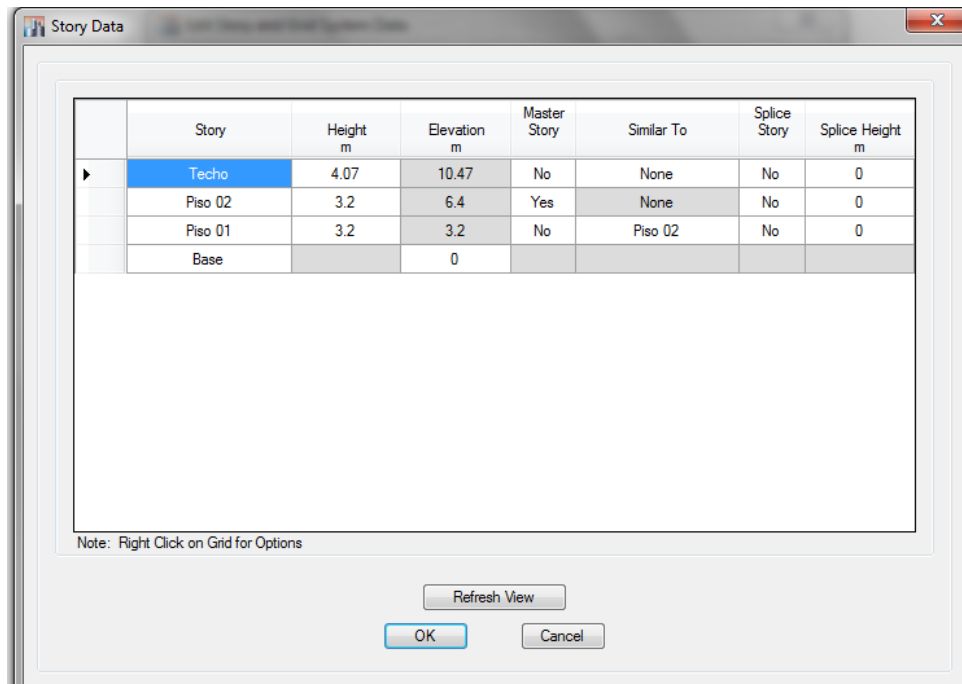
#### 4.4.3. Módulo “C” – SS.HH

Figura N° 4.50. Edición de ejes en la dirección “X” e “Y”.



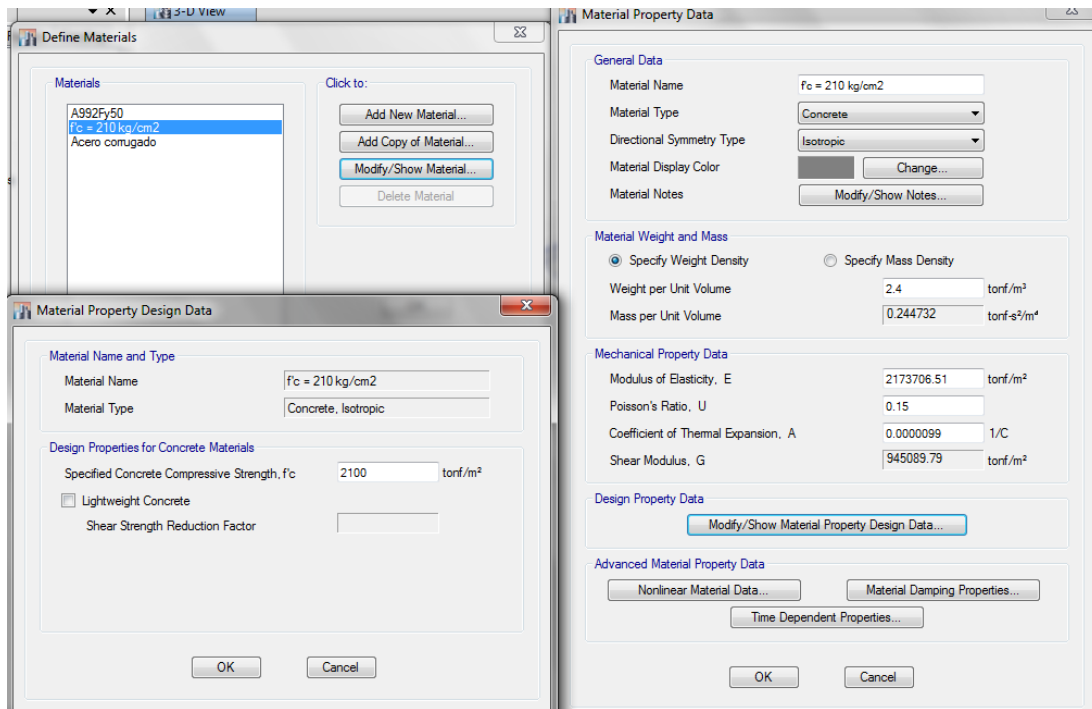
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.51. Edición de pisos.



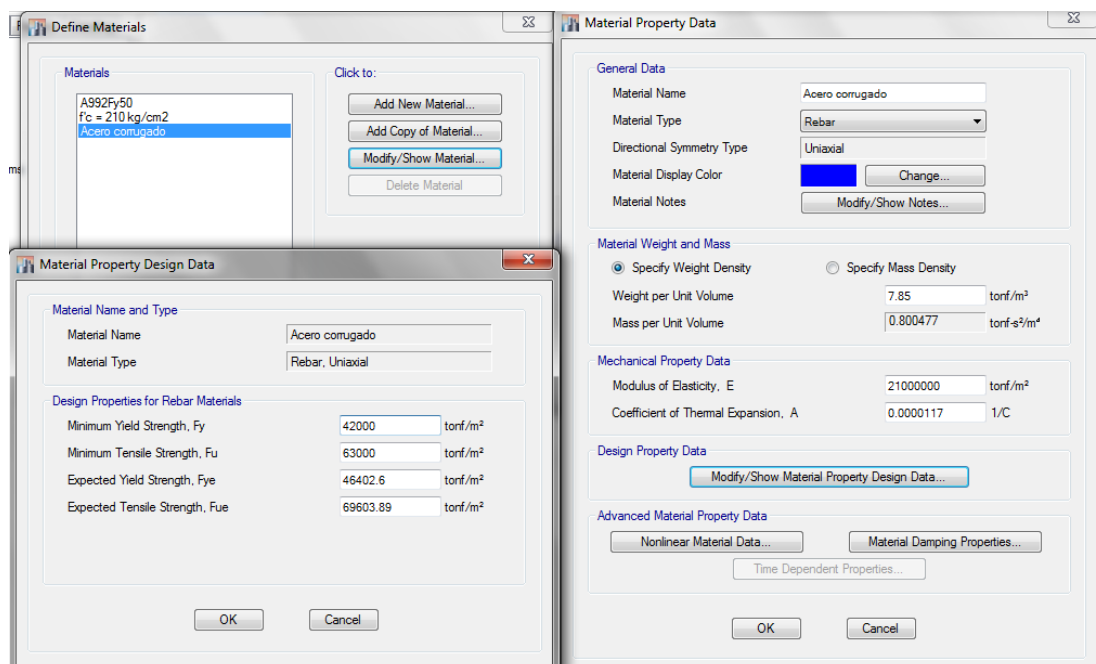
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.52. Definición de las propiedades del concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .



Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.53. Definición de las propiedades del acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .



Fuente: ETABS V.15, 2015.

#### 4.5. Cálculo de rigideces para el modelo dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov.

##### 4.5.1. Módulo “B”

##### 4.5.1.1. Cálculo de masas traslacionales

Tabla N° 4.9. Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-2	2.30	2.40	0.40	5.30	0.54	0.54	0.54
Z-3	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-4	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-5	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-6	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43
Z-7	2.50	2.70	0.40	6.48	0.66	0.66	0.66
Z-8	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-9	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-10	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.5.1.2. Cálculo de masas rotacionales

Tabla N° 4.10. Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mψz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.35	4.16	3.4	7.24	0.14	0.11	0.21
Z-2	0.54	5.92	5.5	11.05	0.29	0.27	0.50
Z-3	0.47	5.45	4.6	9.70	0.23	0.20	0.38
Z-4	0.47	5.45	4.6	9.70	0.23	0.20	0.38
Z-5	0.35	4.16	3.4	7.24	0.14	0.11	0.21
Z-6	0.43	5.00	4.2	8.84	0.20	0.17	0.32
Z-7	0.66	7.45	6.4	13.54	0.44	0.38	0.75
Z-8	0.61	6.92	5.9	12.52	0.38	0.33	0.64
Z-9	0.61	6.92	5.9	12.52	0.38	0.33	0.64
Z-10	0.43	5.00	4.2	8.84	0.20	0.17	0.32

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.5.1.3. Cálculo de presión estática

Tabla N° 4.11. Cálculo de presión estática.

Zapata	Presión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	0.62
Z-2	0.60
Z-3	0.70
Z-4	0.67
Z-5	0.60
Z-6	0.68
Z-7	0.67
Z-8	0.73



Z-9	<b>0.72</b>
Z-10	<b>0.64</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.1.4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

Tabla N° 4.12. Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	5.38	5.38	6.53	11.20	10.73
Z-2	4.57	4.57	5.55	9.12	8.97
Z-3	5.17	5.17	6.27	10.51	10.14
Z-4	5.06	5.06	6.15	10.29	9.93
Z-5	5.28	5.28	6.41	10.99	10.53
Z-6	5.25	5.25	6.37	10.75	10.35
Z-7	4.54	4.54	5.52	8.99	8.73
Z-8	4.87	4.87	5.91	9.70	9.41
Z-9	4.82	4.82	5.86	9.61	9.32
Z-10	5.12	5.12	6.21	10.48	10.09

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.1.5. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.13. Cálculo de rigideces.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)
Z-1	19365.68	19365.68	23515.47	13437.41	10430.79
Z-2	25228.22	25228.22	30634.27	24165.76	21831.85
Z-3	24952.65	24952.65	30299.65	22372.89	17997.56
Z-4	24446.48	24446.48	29685.02	21919.05	17632.48
Z-5	19003.01	19003.01	23075.08	13185.76	10235.45
Z-6	23088.34	23088.34	28035.84	19081.90	15186.08
Z-7	30660.01	30660.01	37230.02	36860.16	30697.13
Z-8	30380.76	30380.76	36890.92	34090.48	28175.21
Z-9	30101.15	30101.15	36551.39	33776.73	27915.90
Z-10	22510.11	22510.11	27333.71	18604.01	14805.76

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.2. Módulo "C"

##### 4.5.2.1. Cálculo de masas traslacionales

Tabla N° 4.14. Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	7.00	0.71	0.71	0.71
Z-2	2.20	4.60	0.40	9.72	0.99	0.99	0.99
Z-3	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-4	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02
Z-5	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-6	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02

Z-7	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-8	1.85	3.75	0.40	6.66	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>
Z-9	1.75	3.60	0.40	6.05	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>
Z-10	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-11	3.00	3.15	0.40	9.07	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>
Z-12	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-13	3.00	3.15	0.40	9.07	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>
Z-14	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-15	2.50	2.60	0.40	6.24	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>
Z-16	1.60	1.80	0.40	2.76	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.2.2. Cálculo de masas rotacionales

Tabla N° 4.15. Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	M <sub>φx</sub> (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M <sub>φy</sub> (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M <sub>φz</sub> (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.71	16.56	3.40	19.64	<b>1.01</b>	<b>0.23</b>	<b>1.17</b>
Z-2	0.99	21.32	5.00	26.00	<b>1.80</b>	<b>0.45</b>	<b>2.15</b>
Z-3	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-4	1.02	11.05	10.08	20.81	<b>0.98</b>	<b>0.90</b>	<b>1.76</b>
Z-5	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-6	1.02	11.05	10.08	20.81	<b>0.98</b>	<b>0.90</b>	<b>1.76</b>
Z-7	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-8	0.68	14.22	3.58	17.49	<b>0.83</b>	<b>0.23</b>	<b>0.99</b>
Z-9	0.62	13.12	3.22	16.02	<b>0.70</b>	<b>0.19</b>	<b>0.82</b>
Z-10	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-11	0.92	10.08	9.16	18.92	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	<b>1.46</b>
Z-12	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-13	0.92	10.08	9.16	18.92	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	<b>1.46</b>
Z-14	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-15	0.64	6.92	6.41	13.01	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.69</b>
Z-16	0.28	3.40	2.72	5.80	<b>0.09</b>	<b>0.08</b>	<b>0.14</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.2.3. Cálculo de presión estática

Tabla N° 4.16. Cálculo de presión estática.

Zapata	Presión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	<b>0.61</b>
Z-2	<b>0.87</b>
Z-3	<b>0.82</b>
Z-4	<b>0.77</b>
Z-5	<b>0.84</b>
Z-6	<b>0.76</b>
Z-7	<b>0.86</b>
Z-8	<b>0.70</b>
Z-9	<b>0.51</b>

Z-10	<b>0.59</b>
Z-11	<b>0.55</b>
Z-12	<b>0.58</b>
Z-13	<b>0.57</b>
Z-14	<b>0.57</b>
Z-15	<b>0.47</b>
Z-16	<b>0.52</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.2.4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

Tabla N° 4.17. Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	C <sub>φx</sub> (Kg/cm <sup>3</sup> )	C <sub>φy</sub> (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	4.47	4.47	5.43	10.06	7.49
Z-2	4.79	4.79	5.81	10.33	7.97
Z-3	4.66	4.66	5.66	9.05	8.78
Z-4	4.32	4.32	5.24	8.21	8.08
Z-5	4.71	4.71	5.72	9.14	8.86
Z-6	4.27	4.27	5.19	8.13	8.00
Z-7	4.77	4.77	5.79	9.25	8.97
Z-8	4.80	4.80	5.82	10.64	8.20
Z-9	4.22	4.22	5.12	9.45	7.23
Z-10	4.05	4.05	4.91	7.88	7.68
Z-11	3.74	3.74	4.54	7.17	7.04
Z-12	4.03	4.03	4.89	7.85	7.65
Z-13	3.81	3.81	4.63	7.31	7.18
Z-14	3.99	3.99	4.84	7.77	7.57
Z-15	3.85	3.85	4.68	7.59	7.48
Z-16	5.29	5.29	6.43	11.20	10.67

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.2.5. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.18. Cálculo de rigideces.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	K <sub>φx</sub> (Tn.m)	K <sub>φy</sub> (Tn.m)
Z-1	19365.68	19365.68	23515.47	13437.41	10430.79
Z-2	25228.22	25228.22	30634.27	24165.76	21831.85
Z-3	24952.65	24952.65	30299.65	22372.89	17997.56
Z-4	24446.48	24446.48	29685.02	21919.05	17632.48
Z-5	19003.01	19003.01	23075.08	13185.76	10235.45
Z-6	23088.34	23088.34	28035.84	19081.90	15186.08
Z-7	30660.01	30660.01	37230.02	36860.16	30697.13
Z-8	30380.76	30380.76	36890.92	34090.48	28175.21
Z-9	30101.15	30101.15	36551.39	33776.73	27915.90
Z-10	22510.11	22510.11	27333.71	18604.01	14805.76

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.3. Módulo "C" – SS.HH

##### 4.5.3.1. Cálculo de masas traslacionales

**Tabla N° 4.19.** Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	6.66	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>
Z-2	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-3	2.70	2.90	0.40	7.52	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>
Z-4	2.50	2.60	0.40	6.24	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>
Z-5	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-6	1.75	3.60	0.40	6.05	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.5.3.2. Cálculo de masas rotacionales

**Tabla N° 4.20.** Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mψz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.68	14.22	3.58	17.49	<b>0.83</b>	<b>0.23</b>	<b>0.99</b>
Z-2	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-3	0.77	8.57	7.45	15.70	<b>0.58</b>	<b>0.51</b>	<b>1.00</b>
Z-4	0.64	6.92	6.41	13.01	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.69</b>
Z-5	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-6	0.62	13.12	3.22	16.02	<b>0.70</b>	<b>0.19</b>	<b>0.82</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.5.3.3. Cálculo de presión estática

**Tabla N° 4.21.** Cálculo de presión estática.

Zapata	Presión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	<b>0.65</b>
Z-2	<b>0.93</b>
Z-3	<b>0.63</b>
Z-4	<b>0.51</b>
Z-5	<b>0.67</b>
Z-6	<b>0.50</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.5.3.4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

**Tabla N° 4.22.** Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	<b>4.61</b>	<b>4.61</b>	<b>5.60</b>	<b>10.23</b>	<b>7.89</b>
Z-2	<b>4.95</b>	<b>4.95</b>	<b>6.01</b>	<b>9.60</b>	<b>9.31</b>
Z-3	<b>4.21</b>	<b>4.21</b>	<b>5.12</b>	<b>8.23</b>	<b>8.02</b>
Z-4	<b>4.03</b>	<b>4.03</b>	<b>4.89</b>	<b>7.94</b>	<b>7.82</b>
Z-5	<b>4.32</b>	<b>4.32</b>	<b>5.25</b>	<b>8.42</b>	<b>8.21</b>

Z-6	4.17	4.17	5.07	9.36	7.15
-----	------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.5.3.5. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.23. Cálculo de rigideces.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	K $\phi$ x (Tn.m)	K $\phi$ y (Tn.m)
Z-1	31998.22	31998.22	38854.98	45533.17	15603.06
Z-2	43708.70	43708.70	53074.85	42504.11	55676.45
Z-3	32988.74	32988.74	40057.76	28073.81	38145.86
Z-4	26183.16	26183.16	31793.83	17910.53	26475.03
Z-5	35066.08	35066.08	42580.24	30879.55	41962.09
Z-6	26279.68	26279.68	31911.04	34463.93	11497.36

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6. Cálculo de rigideces para el modelo dinámico de la Norma Rusa

##### 4.6.1. Módulo "B"

##### 4.6.1.1. Cálculo de masas traslacionales

Tabla N° 4.24. Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-2	2.30	2.40	0.40	5.30	0.54	0.54	0.54
Z-3	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-4	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-5	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-6	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43
Z-7	2.50	2.70	0.40	6.48	0.66	0.66	0.66
Z-8	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-9	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-10	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.6.1.2. Cálculo de masas rotacionales

Tabla N° 4.25. Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	M $\phi$ x (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M $\phi$ y (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M $\phi$ z (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.35	4.16	3.4	7.24	0.14	0.11	0.21
Z-2	0.54	5.92	5.5	11.05	0.29	0.27	0.50
Z-3	0.47	5.45	4.6	9.70	0.23	0.20	0.38
Z-4	0.47	5.45	4.6	9.70	0.23	0.20	0.38
Z-5	0.35	4.16	3.4	7.24	0.14	0.11	0.21
Z-6	0.43	5.00	4.2	8.84	0.20	0.17	0.32
Z-7	0.66	7.45	6.4	13.54	0.44	0.38	0.75
Z-8	0.61	6.92	5.9	12.52	0.38	0.33	0.64
Z-9	0.61	6.92	5.9	12.52	0.38	0.33	0.64

Z-10	0.43	5.00	4.2	8.84	<b>0.20</b>	<b>0.17</b>	<b>0.32</b>
------	------	------	-----	------	-------------	-------------	-------------

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.1.3. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

Tabla N° 4.26. Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cψz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	4480.00	4480.00	6400.00	12800.00	12800.00	6400.00
Z-2	3941.20	3941.20	5630.29	11260.58	11260.58	5630.29
Z-3	4097.33	4097.33	5853.33	11706.65	11706.65	5853.33
Z-4	4097.33	4097.33	5853.33	11706.65	11706.65	5853.33
Z-5	4480.00	4480.00	6400.00	12800.00	12800.00	6400.00
Z-6	4212.70	4212.70	6018.14	12036.27	12036.27	6018.14
Z-7	3724.83	3724.83	5321.19	10642.37	10642.37	5321.19
Z-8	3806.75	3806.75	5438.22	10876.44	10876.44	5438.22
Z-9	3806.75	3806.75	5438.22	10876.44	10876.44	5438.22
Z-10	4212.70	4212.70	6018.14	12036.27	12036.27	6018.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.1.4. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.27. Cálculo de rigideces.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)	Kψz (Tn.m)
Z-1	16128.00	16128.00	23040.00	15360.00	12441.60	13900.80
Z-2	21755.45	21755.45	31079.21	29836.04	27401.50	28618.77
Z-3	19790.10	19790.10	28271.57	24926.10	20779.60	22852.85
Z-4	19790.10	19790.10	28271.57	24926.10	20779.60	22852.85
Z-5	16128.00	16128.00	23040.00	15360.00	12441.60	13900.80
Z-6	18535.86	18535.86	26479.80	21360.37	17653.20	19506.79
Z-7	25142.61	25142.61	35918.01	43640.38	37414.60	40527.49
Z-8	23754.14	23754.14	33934.48	38232.85	32577.10	35404.98
Z-9	23754.14	23754.14	33934.48	38232.85	32577.10	35404.98
Z-10	18535.86	18535.86	26479.80	21360.37	17653.20	19506.79

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.2. Módulo "C"

##### 4.6.2.1. Cálculo de masas traslacionales

Tabla N° 4.28. Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	7.00	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>
Z-2	2.20	4.60	0.40	9.72	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
Z-3	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-4	3.15	3.30	0.40	9.98	<b>1.02</b>	<b>1.02</b>	<b>1.02</b>
Z-5	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-6	3.15	3.30	0.40	9.98	<b>1.02</b>	<b>1.02</b>	<b>1.02</b>
Z-7	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-8	1.85	3.75	0.40	6.66	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>

Z-9	1.75	3.60	0.40	6.05	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>
Z-10	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-11	3.00	3.15	0.40	9.07	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>
Z-12	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-13	3.00	3.15	0.40	9.07	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>
Z-14	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-15	2.50	2.60	0.40	6.24	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>
Z-16	1.60	1.80	0.40	2.76	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.2.2. Cálculo de masas rotacionales

Tabla N° 4.29. Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mψz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.71	16.56	3.40	19.64	<b>1.01</b>	<b>0.23</b>	<b>1.17</b>
Z-2	0.99	21.32	5.00	26.00	<b>1.80</b>	<b>0.45</b>	<b>2.15</b>
Z-3	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-4	1.02	11.05	10.08	20.81	<b>0.98</b>	<b>0.90</b>	<b>1.76</b>
Z-5	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-6	1.02	11.05	10.08	20.81	<b>0.98</b>	<b>0.90</b>	<b>1.76</b>
Z-7	0.86	9.77	8.28	17.73	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-8	0.68	14.22	3.58	17.49	<b>0.83</b>	<b>0.23</b>	<b>0.99</b>
Z-9	0.62	13.12	3.22	16.02	<b>0.70</b>	<b>0.19</b>	<b>0.82</b>
Z-10	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-11	0.92	10.08	9.16	18.92	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	<b>1.46</b>
Z-12	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-13	0.92	10.08	9.16	18.92	<b>0.81</b>	<b>0.74</b>	<b>1.46</b>
Z-14	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-15	0.64	6.92	6.41	13.01	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.69</b>
Z-16	0.28	3.40	2.72	5.80	<b>0.09</b>	<b>0.08</b>	<b>0.14</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.2.3. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

Tabla N° 4.30. Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cψz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	<b>3647.64</b>	<b>3647.64</b>	<b>5210.91</b>	<b>10421.83</b>	<b>10421.83</b>	<b>5210.91</b>
Z-2	<b>3350.01</b>	<b>3350.01</b>	<b>4785.73</b>	<b>9571.46</b>	<b>9571.46</b>	<b>4785.73</b>
Z-3	<b>3467.34</b>	<b>3467.34</b>	<b>4953.34</b>	<b>9906.67</b>	<b>9906.67</b>	<b>4953.34</b>
Z-4	<b>3327.77</b>	<b>3327.77</b>	<b>4753.96</b>	<b>9507.92</b>	<b>9507.92</b>	<b>4753.96</b>
Z-5	<b>3467.34</b>	<b>3467.34</b>	<b>4953.34</b>	<b>9906.67</b>	<b>9906.67</b>	<b>4953.34</b>
Z-6	<b>3327.77</b>	<b>3327.77</b>	<b>4753.96</b>	<b>9507.92</b>	<b>9507.92</b>	<b>4753.96</b>
Z-7	<b>3467.34</b>	<b>3467.34</b>	<b>4953.34</b>	<b>9906.67</b>	<b>9906.67</b>	<b>4953.34</b>
Z-8	<b>3697.01</b>	<b>3697.01</b>	<b>5281.44</b>	<b>10562.88</b>	<b>10562.88</b>	<b>5281.44</b>
Z-9	<b>3796.60</b>	<b>3796.60</b>	<b>5423.72</b>	<b>10847.43</b>	<b>10847.43</b>	<b>5423.72</b>
Z-10	<b>3545.23</b>	<b>3545.23</b>	<b>5064.61</b>	<b>10129.22</b>	<b>10129.22</b>	<b>5064.61</b>
Z-11	<b>3408.20</b>	<b>3408.20</b>	<b>4868.85</b>	<b>9737.71</b>	<b>9737.71</b>	<b>4868.85</b>
Z-12	<b>3545.23</b>	<b>3545.23</b>	<b>5064.61</b>	<b>10129.22</b>	<b>10129.22</b>	<b>5064.61</b>

Z-13	3408.20	3408.20	4868.85	9737.71	9737.71	4868.85
Z-14	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-15	3763.78	3763.78	5376.83	10753.67	10753.67	5376.83
Z-16	4810.50	4810.50	6872.14	13744.27	13744.27	6872.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.2.4. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.31. Cálculo de rigideces.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	K $\phi$ x (Tn.m)	K $\phi$ y (Tn.m)	K $\Psi$ z (Tn.m)
Z-1	26591.29	26591.29	37987.56	103848.49	20513.28	62180.89
Z-2	33902.10	33902.10	48431.57	170802.01	39068.13	104935.07
Z-3	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-4	34592.19	34592.19	49417.41	89692.60	81724.04	85708.32
Z-5	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-6	34592.19	34592.19	49417.41	89692.60	81724.04	85708.32
Z-7	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-8	25648.00	25648.00	36640.00	85874.99	20900.07	53387.53
Z-9	23918.59	23918.59	34169.41	73805.92	17440.64	45623.28
Z-10	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-11	32207.47	32207.47	46010.67	76090.14	69016.00	72553.07
Z-12	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-13	32207.47	32207.47	46010.67	76090.14	69016.00	72553.07
Z-14	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-15	24464.59	24464.59	34949.42	39376.34	36405.64	37890.99
Z-16	13854.23	13854.23	19791.75	10687.55	8444.48	9566.01

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.3. Módulo "C" – SS.HH

##### 4.6.3.1. Cálculo de masas traslacionales

Tabla N° 4.32. Cálculo de masas traslacionales.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	6.66	0.68	0.68	0.68
Z-2	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-3	2.70	2.90	0.40	7.52	0.77	0.77	0.77
Z-4	2.50	2.60	0.40	6.24	0.64	0.64	0.64
Z-5	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-6	1.75	3.60	0.40	6.05	0.62	0.62	0.62

Fuente: Elaboración propia, 2015.

##### 4.6.3.2. Cálculo de masas rotacionales

Tabla N° 4.33. Cálculo de masas rotacionales.

Zapata	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	(b <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +c <sup>2</sup> )	(a <sup>2</sup> +b <sup>2</sup> )	M $\phi$ x (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M $\phi$ y (Tn.s <sup>2</sup> .m)	M $\Psi$ z (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	0.68	14.22	3.58	17.49	0.83	0.23	0.99
Z-2	0.86	9.77	8.28	17.73	0.74	0.63	1.28



Z-3	0.77	8.57	7.45	15.70	<b>0.58</b>	<b>0.51</b>	<b>1.00</b>
Z-4	0.64	6.92	6.41	13.01	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.69</b>
Z-5	0.79	8.86	7.72	16.27	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-6	0.62	13.12	3.22	16.02	<b>0.70</b>	<b>0.19</b>	<b>0.82</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.3.3. Cálculo de coeficientes de rigidez (C)

Tabla N° 4.34. Cálculo de coeficientes de rigidez.

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cψz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	3697.01	3697.01	5281.44	10562.88	10562.88	5281.44
Z-2	3467.34	3467.34	4953.34	9906.67	9906.67	4953.34
Z-3	3578.58	3578.58	5112.25	10224.51	10224.51	5112.25
Z-4	3763.78	3763.78	5376.83	10753.67	10753.67	5376.83
Z-5	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-6	3796.60	3796.60	5423.72	10847.43	10847.43	5423.72

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.6.3.4. Cálculo de rigideces (K)

Tabla N° 4.35. Cálculo de rigideces.

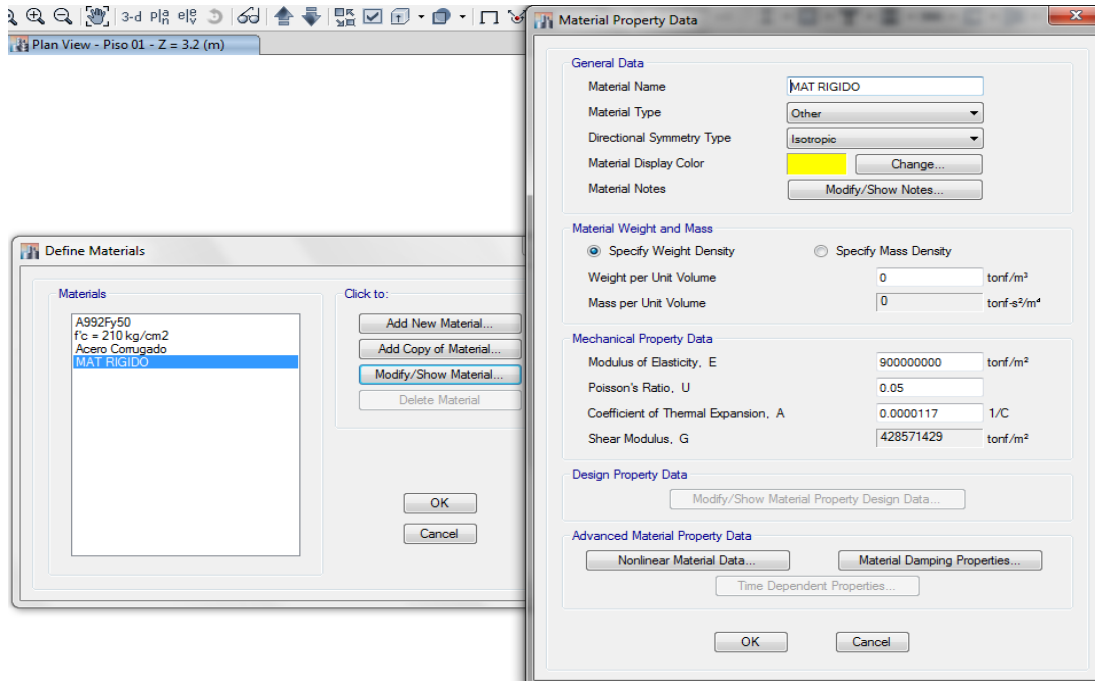
ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)	Kψz (Tn.m)
Z-1	25648.00	25648.00	36640.00	85874.99	20900.07	53387.53
Z-2	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-3	28020.26	28020.26	40028.95	56107.24	48635.17	52371.21
Z-4	24464.59	24464.59	34949.42	39376.34	36405.64	37890.99
Z-5	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-6	23918.59	23918.59	34169.41	73805.92	17440.64	45623.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4.7. Modelación del edificio considerando interacción suelo – estructura

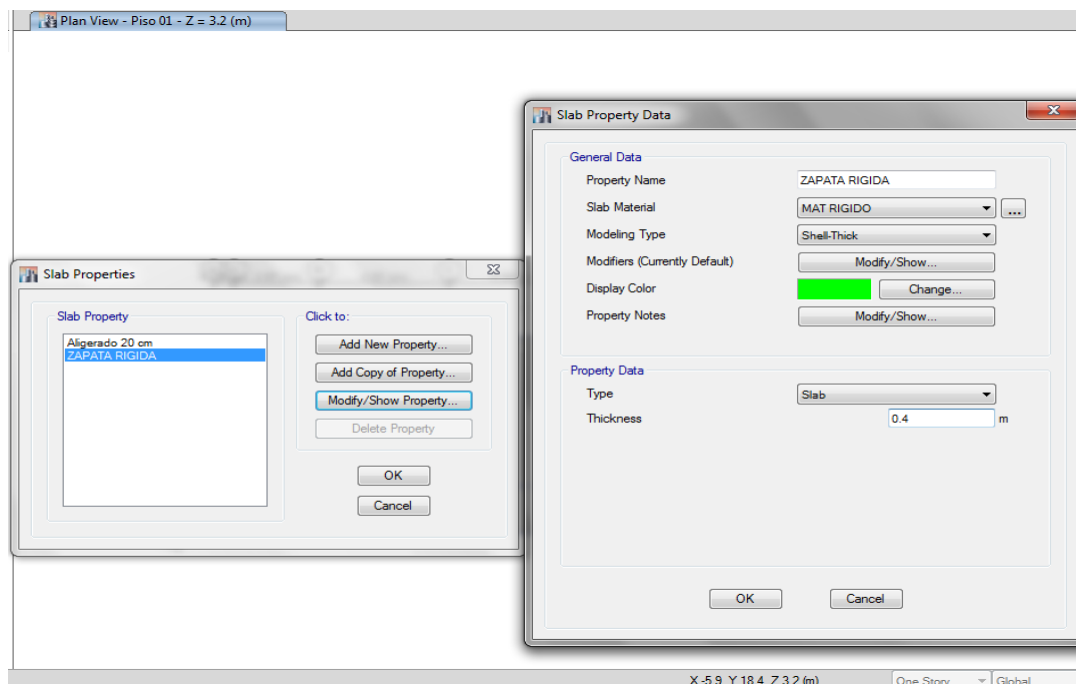
##### 4.7.1. Módulo “B”

Figura N° 4.54. Definición de material rígido.



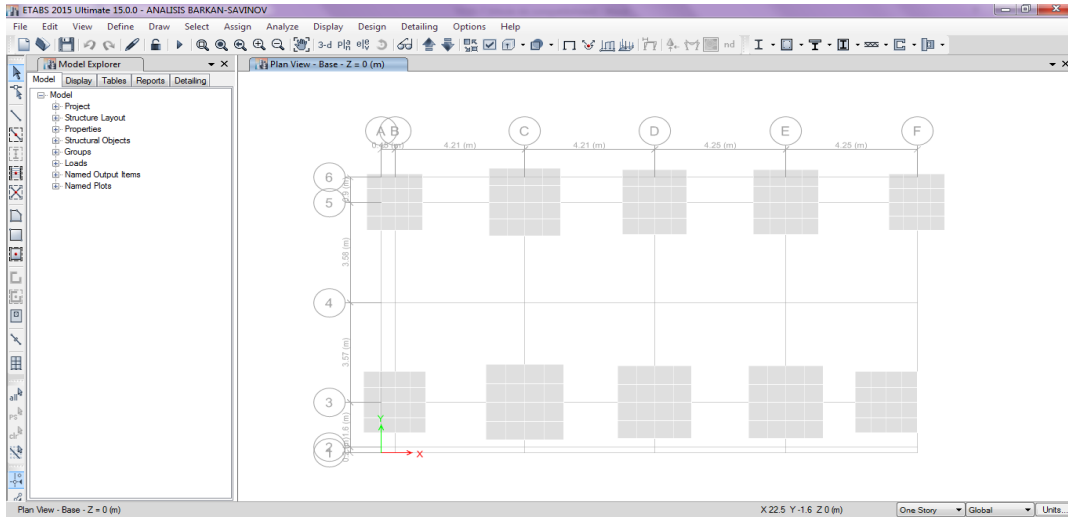
Fuente: ETABS V.15, 2015.

Figura N° 4.55. Definición de sección de zapata rígida.



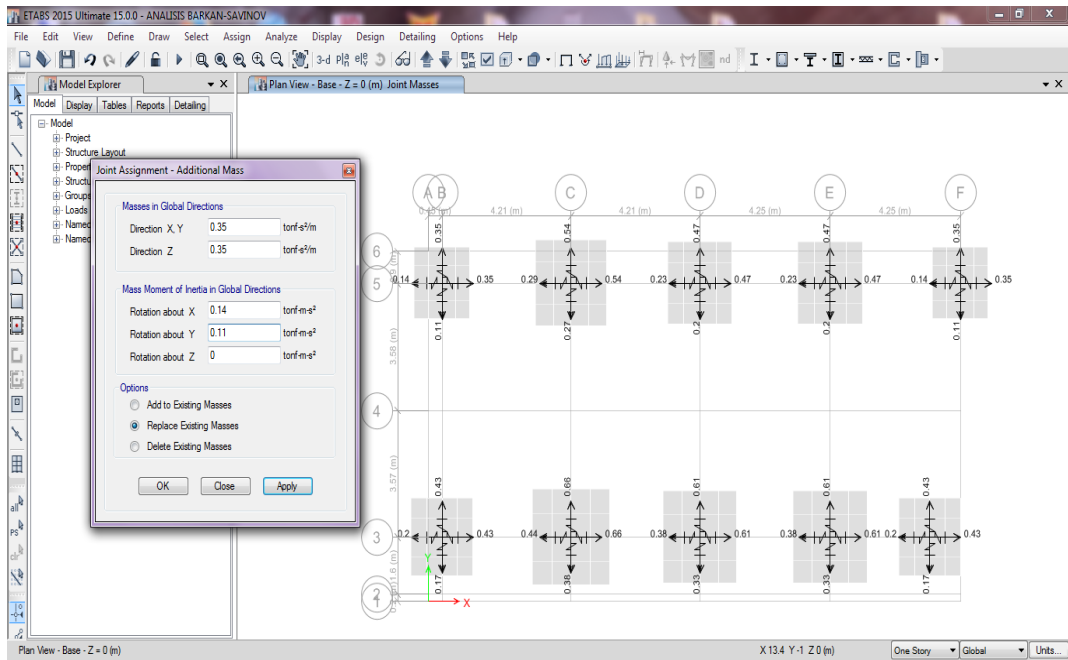
Fuente: ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.56.** Dibujo de zapatas en la base.



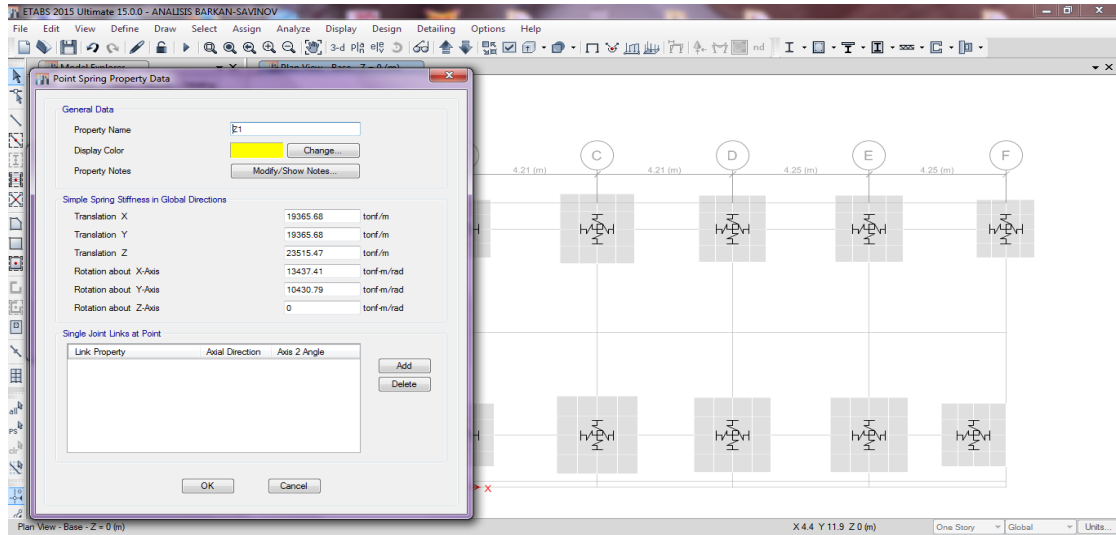
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.57.** Asignación de masas en zapatas.



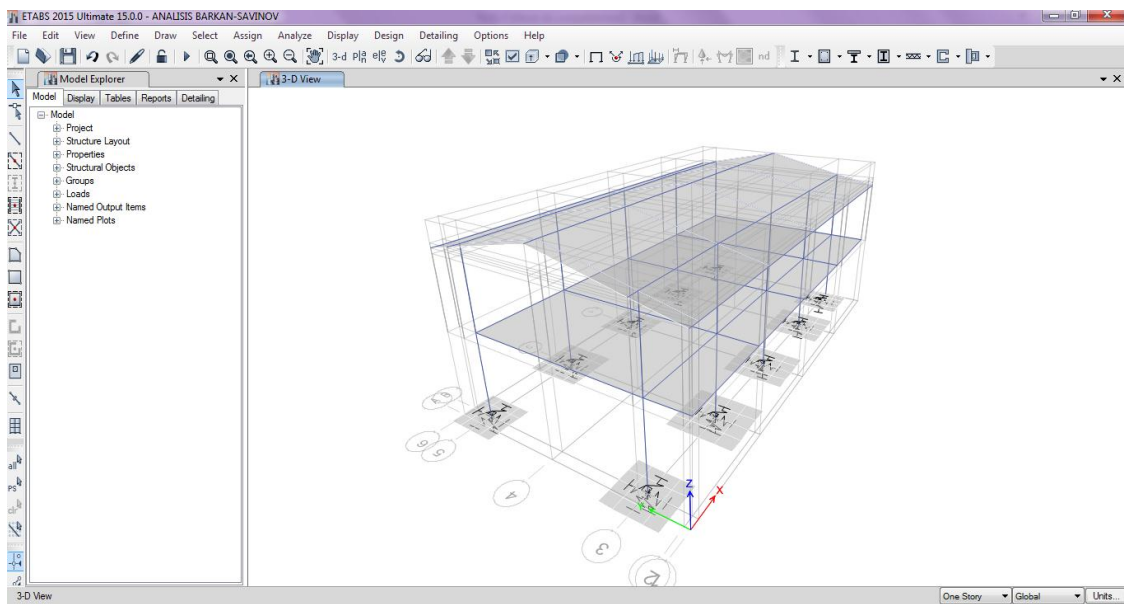
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.58.** Asignación de coeficientes de rigidez en zapatas.



**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

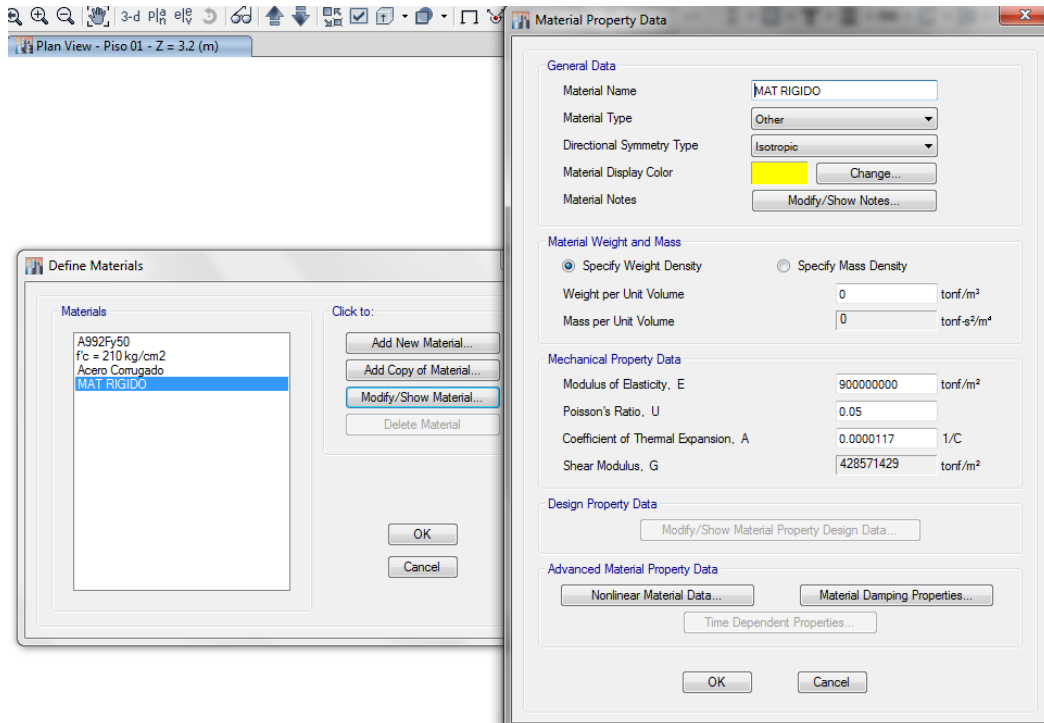
**Figura N° 4.59.** Vista 3D del edificio con base flexible.



**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

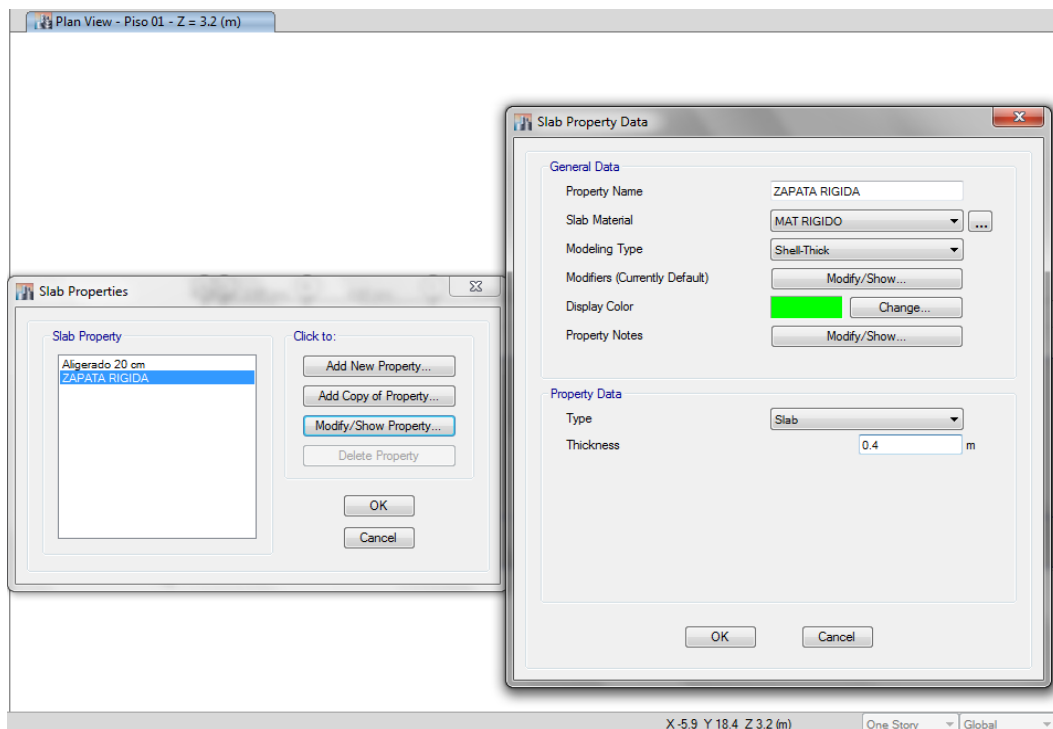
#### 4.7.2. Módulo “C”

**Figura N° 4.60.** Definición de material rígido.



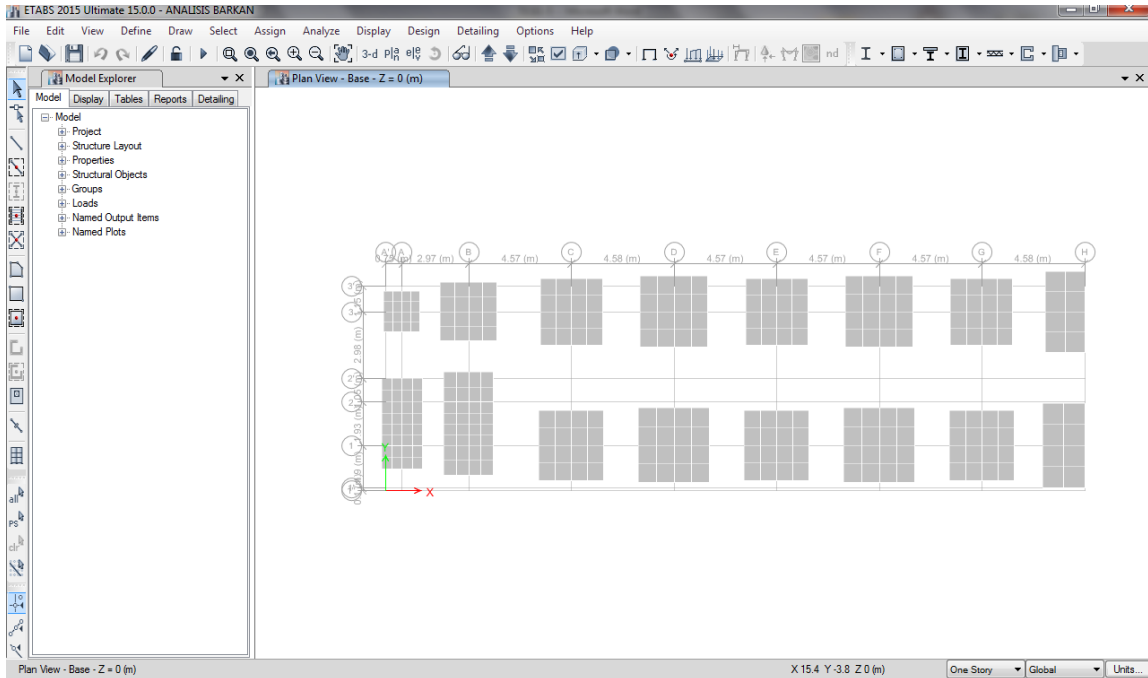
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.61.** Definición de sección de zapata rígida.



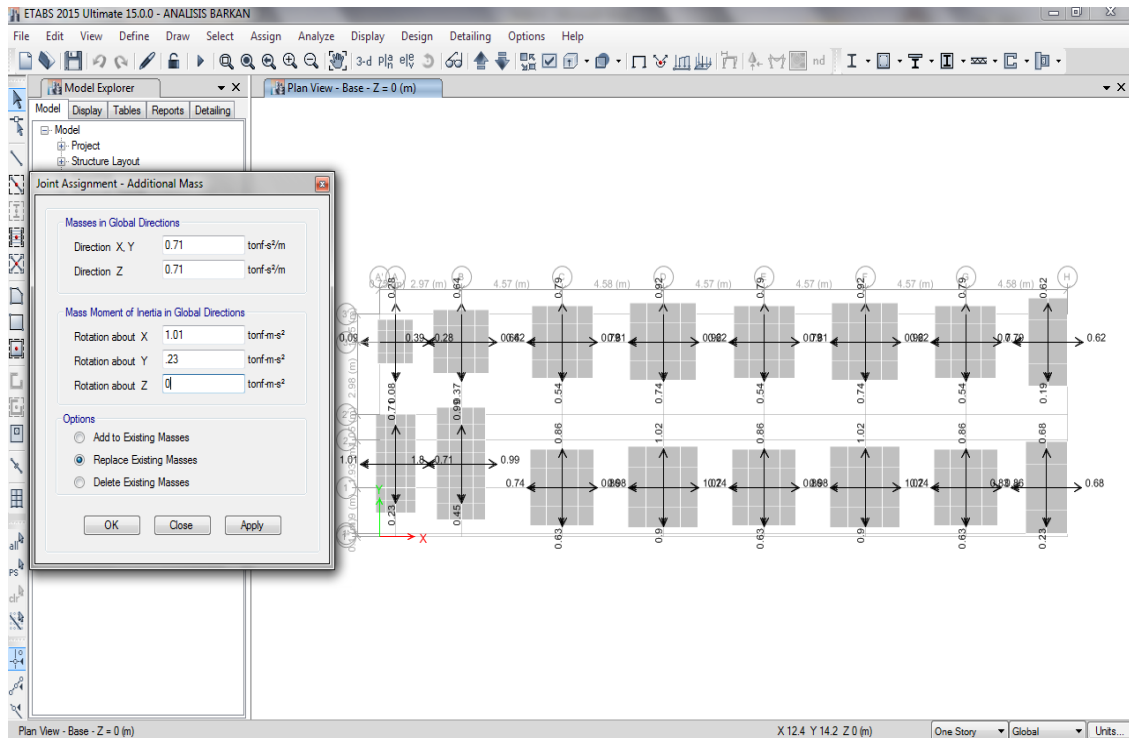
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.62.** Dibujo de zapatas en la base.



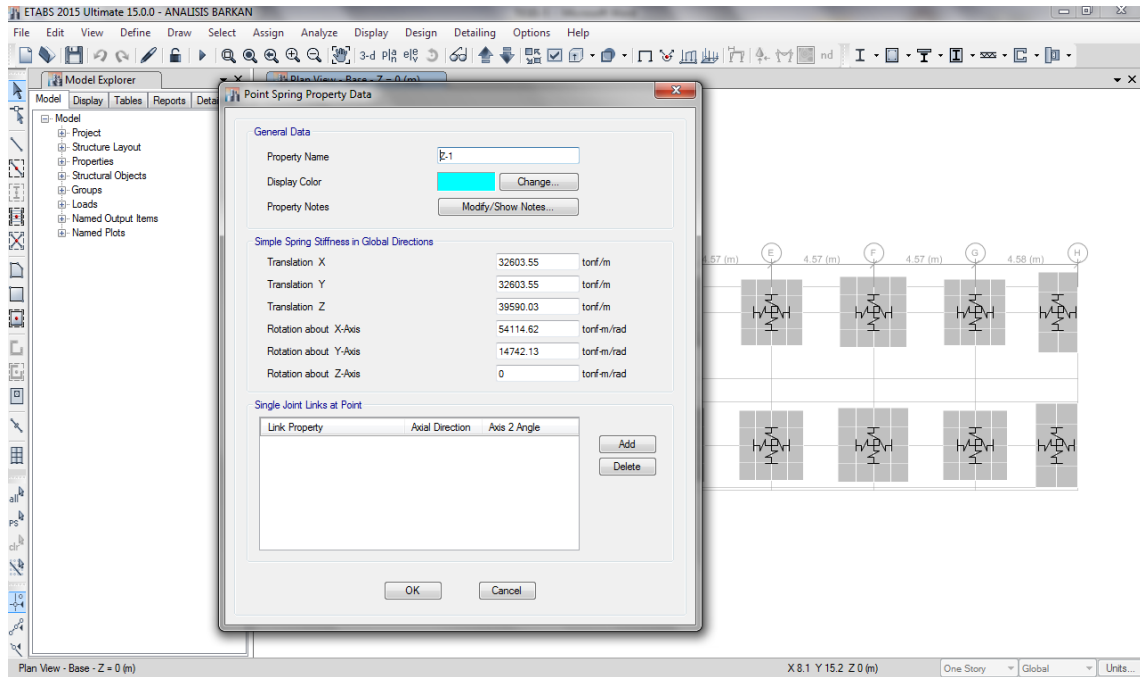
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.63.** Asignación de masas en zapatas.



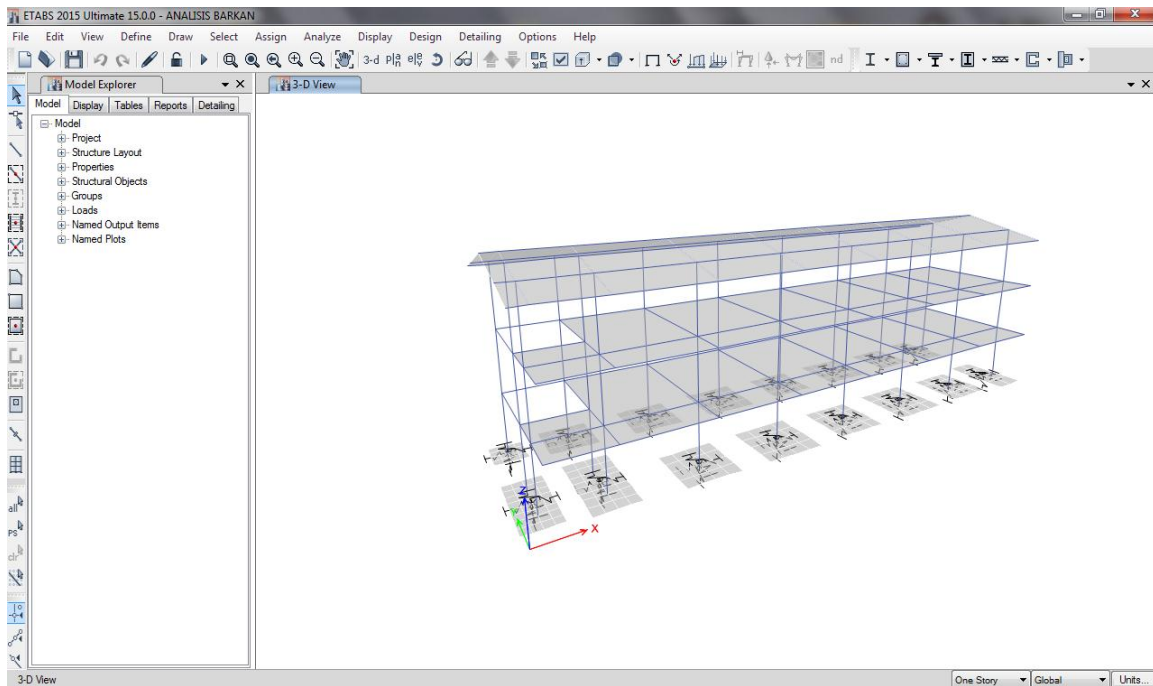
**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.64.** Asignación de coeficientes de rigidez en zapatas.



**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

**Figura N° 4.65.** Vista 3D del edificio con base flexible.



**Fuente:** ETABS V.15, 2015.

## **CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Tipo de diseño de investigación**

El tipo de estudio que se realizó es descriptivo, porque tiene por objeto la descripción del comportamiento del edificio considerando una base empotrada y considerando una base flexible con los modelos dinámicos D.D. Barkan – Savinov y Norma Rusa SNIP 2.02.05-87.

### **5.2. Material de estudio**

#### **5.2.1. Unidad de estudio**

Las unidades de estudio son los módulos “B” y “C” de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro.

#### **5.2.2. Población**

La población para el presente estudio está constituida por los tres módulos que pertenecen a la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro.

#### **5.2.3. Muestra**

La técnica de muestreo utilizada es no probabilística, es por conveniencia y se ha considerado como muestra los módulos “B” y “C” de la Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro .

### **5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos**

#### **5.3.1. Para recolectar datos**

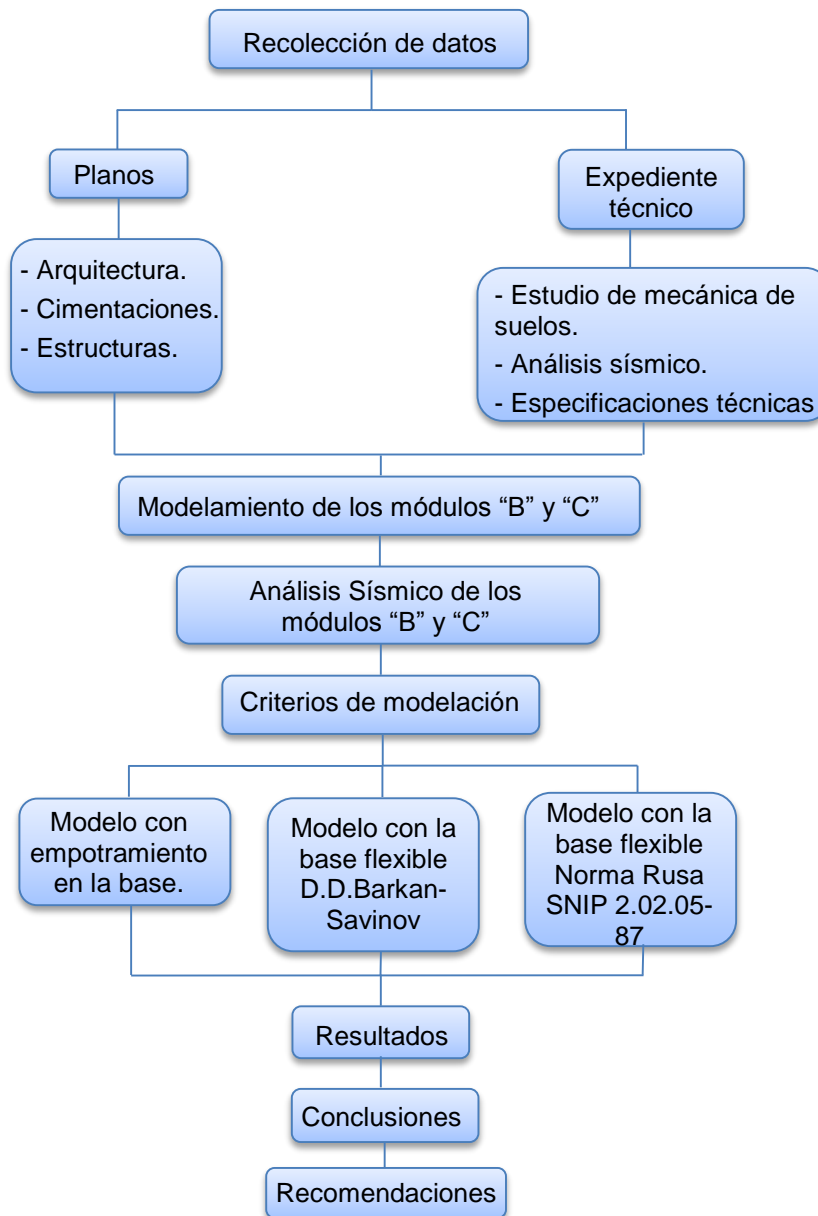
Para la obtención de datos se solicitaron los planos de construcción y el expediente técnico existente de la Instrucción Educativa Julio Ramón Ribeyro.

Además se realizaron dos calicatas de 3 metros de profundidad para el estudio de mecánica de suelos correspondiente.



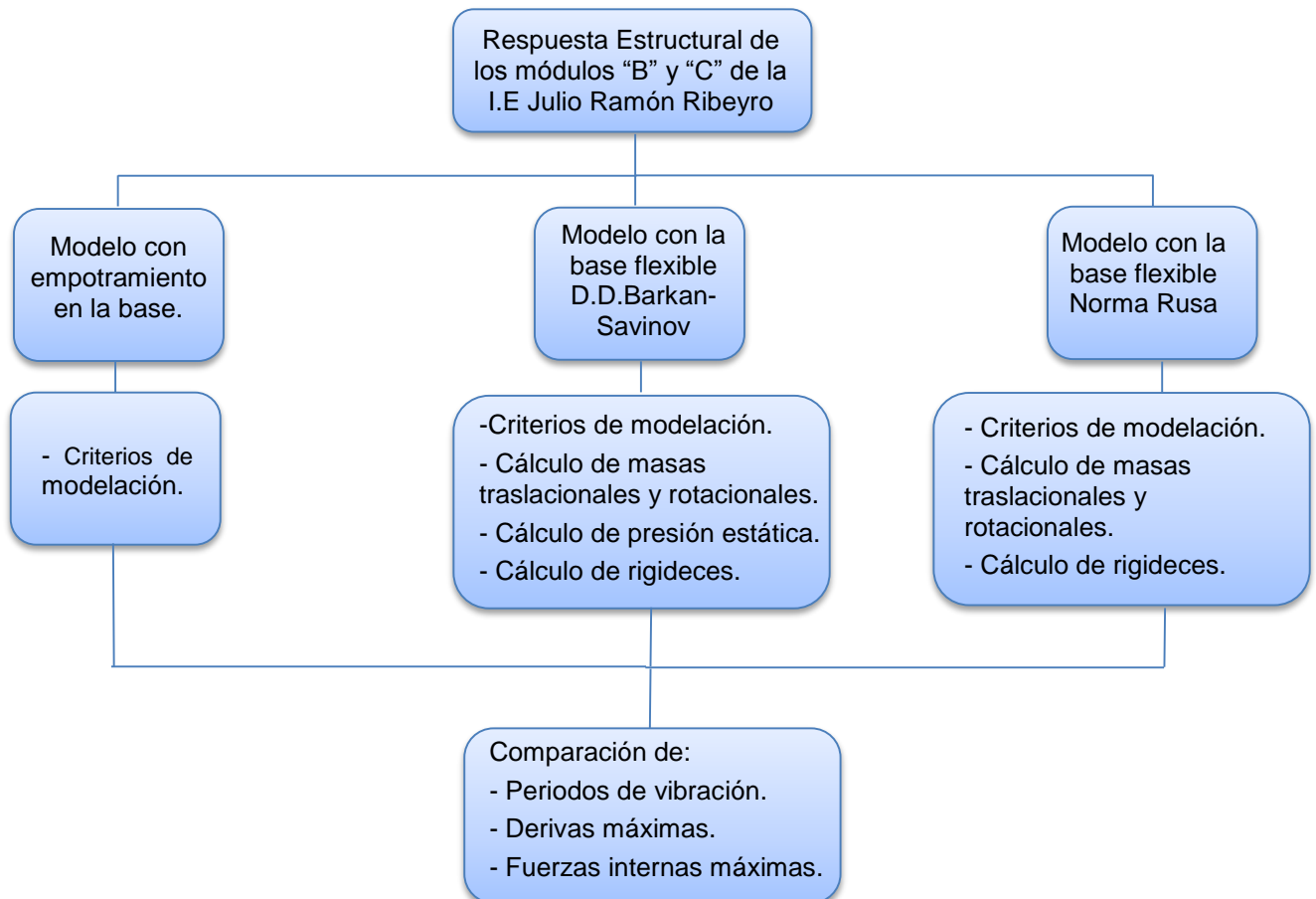
**5.3.2. Para analizar información.**

**Figura N° 5.1.** Procedimiento para el desarrollo de la investigación.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 5.2.** Procedimiento para la comparación de la respuesta estructural.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1. Edificio módulo “B” con base empotrada.

6.1.1. **Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.451 segundos.

**Tabla N° 6.1.** Periodos de la estructura con base empotrada.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.451
Modal	2	0.309
Modal	3	0.293
Modal	4	0.163
Modal	5	0.107
Modal	6	0.101

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.1.2. Modos de vibración de la estructura:

**Tabla N° 6.2.** Modos de vibración de la estructura.

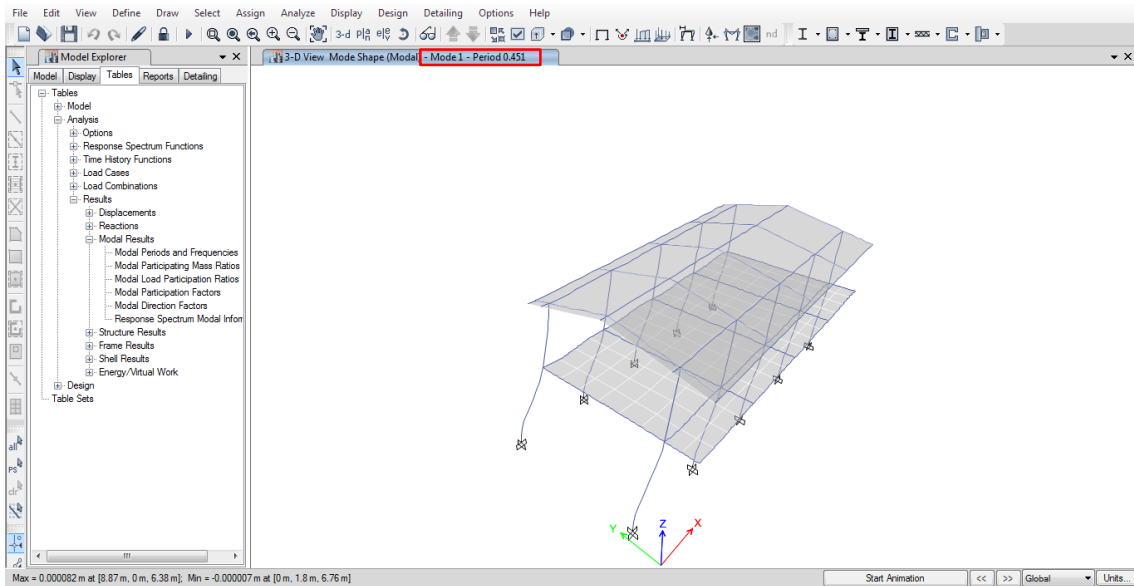
Caso	Modo	Periodo (seg)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	<b>1</b>	0.451	<b>0.976</b>	0.000	0.000	0.000	0.043	0.003
Modal	<b>2</b>	0.309	0.000	<b>0.931</b>	0.000	0.068	0.000	0.029
Modal	<b>3</b>	0.293	0.003	0.030	0.000	0.001	0.001	<b>0.936</b>
Modal	4	0.163	0.021	0.000	0.000	0.000	0.933	0.000
Modal	5	0.107	0.000	0.037	0.000	0.863	0.000	0.002
Modal	6	0.101	0.000	0.002	0.000	0.054	0.004	0.030

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje “X” (ver figura N° 6.1).

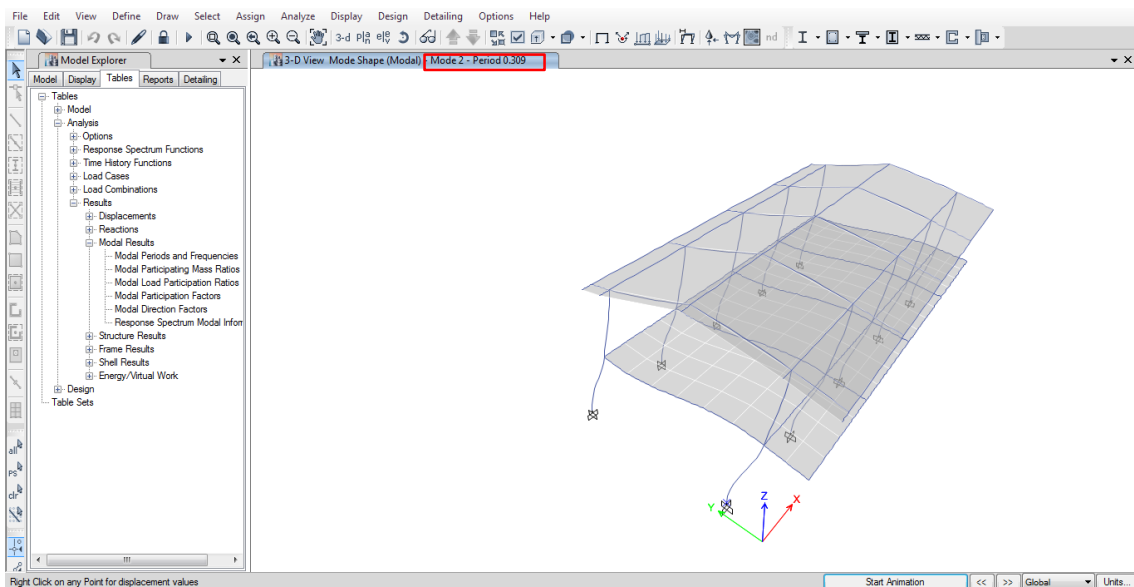
**Figura N° 6.1. Primer modo de vibración.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje “Y” (ver figura N° 6.2).

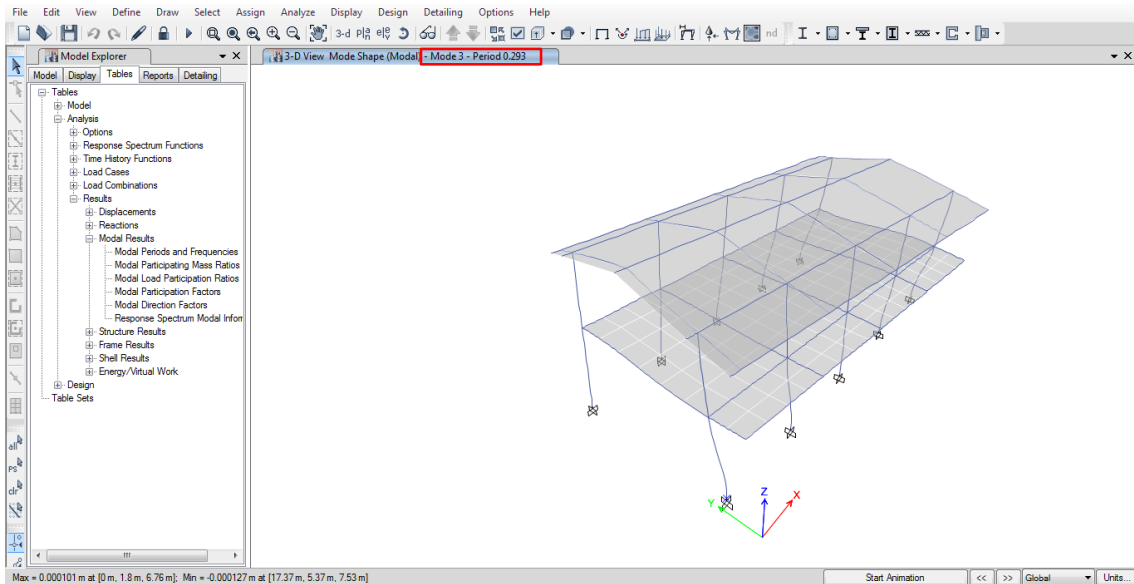
**Figura N° 6.2. Segundo modo de vibración.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje “Z” (ver figura N° 6.3).

Figura N° 6.3. Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.1.3. Desplazamientos de entrepiso:

#### ANÁLISIS ESTÁTICO:

Tabla N° 6.3. Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	7.45	3.40

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 7.45 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 3.40 cm.

#### ANÁLISIS DINÁMICO:

Tabla N° 6.4. Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	7.22	3.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 7.22 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 3.20 cm.

### 6.1.4. Derivas de entrepiso:

#### ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.5.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp X	0.0215	2.15
Piso 01	Desp Y	0.0101	1.01

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0215 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0101 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.6.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp din X Max	0.0213	2.13
Piso 01	Desp din Y Max	0.0104	1.04

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0213 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0104 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

**6.1.5. Peso total de la estructura:** El peso total de la estructura es de 267.22 Tn.

**Tabla N° 6.7.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	5.35
Piso 01	21.25
Base	0.64
<b>Masa total</b>	<b>27.24</b>
<b>Peso total</b>	<b>267.22</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**6.1.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.8.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	67.02	68.49	54.79	Cumple
YY	65.58	68.49	54.79	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.1.7. Fuerzas internas máximas:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.9.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.71	7.41	13.56
YY	5.33	7.20	14.69

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.10.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.19	7.41	13.52
YY	5.05	7.49	15.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.1.8. Fuerzas cortantes por piso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.11.** Fuerzas cortantes – dirección “X”.

Piso	Load case/combo	V <sub>x</sub> (Tn)
Techo	Sismo X	24.07
Piso 01	Sismo X	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.12.** Fuerzas cortantes - dirección “Y”.

Piso	Load case/combo	V <sub>y</sub> (Tn)
Techo	Sismo Y	24.07
Piso 01	Sismo Y	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.13.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	17.74
Piso 01	EQ-XX Máx	67.02

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.14.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	19.08
Piso 01	EQ-YY Máx	65.58

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.2. Edificio módulo "B" con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov.)**

**6.2.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.485 segundos.

**Tabla N° 6.15.** Periodos de la estructura con base flexible.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.485
Modal	2	0.367
Modal	3	0.340
Modal	4	0.165
Modal	5	0.111
Modal	6	0.106

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.2.2. Modos de vibración de la estructura:**

**Tabla N° 6.16.** Modos de vibración de la estructura.

Caso	Modo	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.485	0.955	0.000	0.000	0.000	0.032	0.005
Modal	2	0.367	0.002	0.586	0.000	0.019	0.000	0.374
Modal	3	0.340	0.003	0.368	0.000	0.024	0.001	0.579
Modal	4	0.165	0.017	0.000	0.000	0.000	0.795	0.000
Modal	5	0.111	0.000	0.027	0.000	0.805	0.000	0.000
Modal	6	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.018

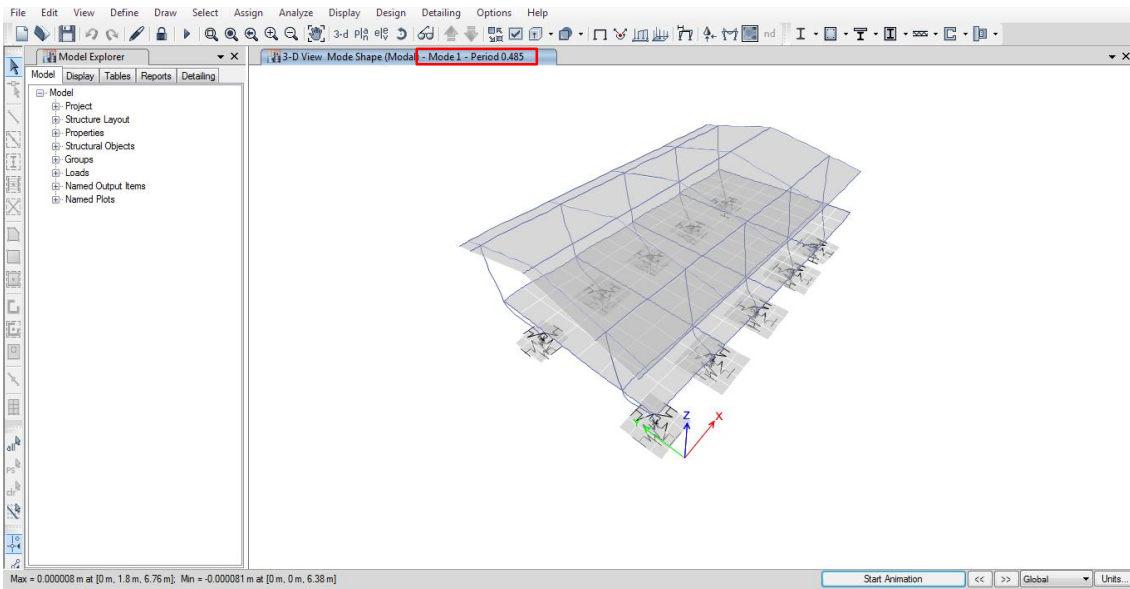
Fuente: Elaboración propia, 2015.



A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.4).

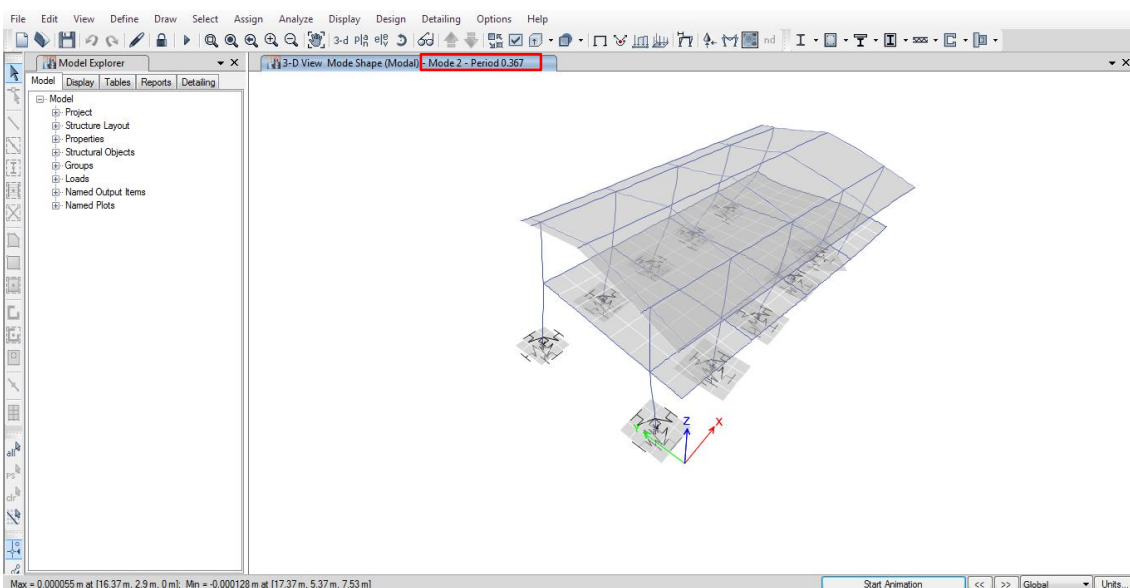
**Figura N° 6.4.** Primer modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" con una leve rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.5).

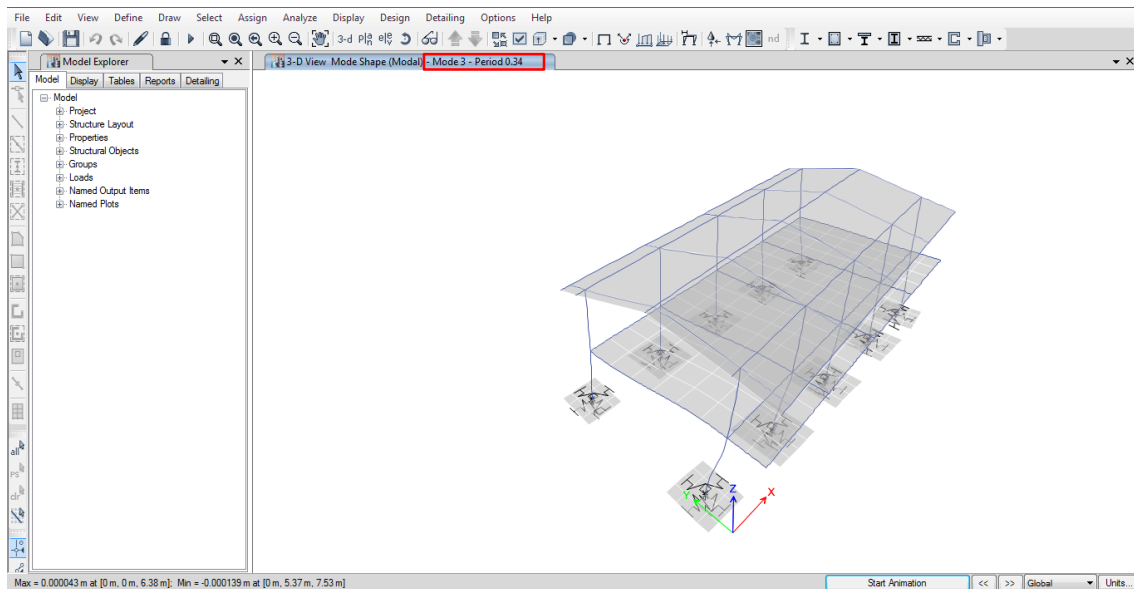
**Figura N° 6.5.** Segundo modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje “Z” con una leve traslación en el eje “Y” (**ver figura N° 6.6**).

**Figura N° 6.6.** Tercer modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

### 6.2.3. Desplazamientos de entrepiso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.17.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	8.68	4.67

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección “X” es de 8.68 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección “Y” es de 4.67 cm.

#### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.18.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	8.42	4.11

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección “X” es de 8.42 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección “Y” es de 4.11 cm.

#### 6.2.4. Derivas de entrepiso:

##### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.19.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp X	0.0247	2.47
Piso 01	Desp Y	0.0149	1.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0247 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0149 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

##### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.20.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp din X Max	0.0247	2.47
Piso 01	Desp din Y Max	0.0159	1.59

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0247 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0159 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

#### 6.2.5. Peso total de la estructura: El peso total de la estructura es de 267.22 Tn.

**Tabla N° 6.21.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	5.35
Piso 01	21.25
Base	0.64
<b>Masa total</b>	<b>27.24</b>
<b>Peso total</b>	<b>267.22</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.2.6. Fuerza cortante en la base (V<sub>b</sub>): La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.22.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	67.14	68.49	54.79	Cumple
YY	60.99	68.49	54.79	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.2.7. Fuerzas internas máximas:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.23.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.88	7.96	14.28
YY	6.41	8.90	17.16

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.24.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.41	8.05	14.40
YY	5.50	8.71	16.61

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.2.8. Fuerzas cortantes por piso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.25.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	V <sub>x</sub> (Tn)
Techo	Sismo X	24.07
Piso 01	Sismo X	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.26.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	V <sub>y</sub> (Tn)
Techo	Sismo Y	24.07
Piso 01	Sismo Y	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.27.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	17.40
Piso 01	EQ-XX Máx	67.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.28.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	16.75
Piso 01	EQ-YY Máx	60.99

Fuente: Elaboración propia, 2015

### 6.3. Edificio módulo "B" con base flexible (modelo dinámico Norma Rusa)

**6.3.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.483 segundos.

**Tabla N° 6.29.** Periodos de la estructura con base flexible.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.483
Modal	2	0.365
Modal	3	0.339
Modal	4	0.165
Modal	5	0.111
Modal	6	0.106

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.3.2. Modos de vibración de la estructura:

**Tabla N° 6.30.** Modos de vibración de la estructura.

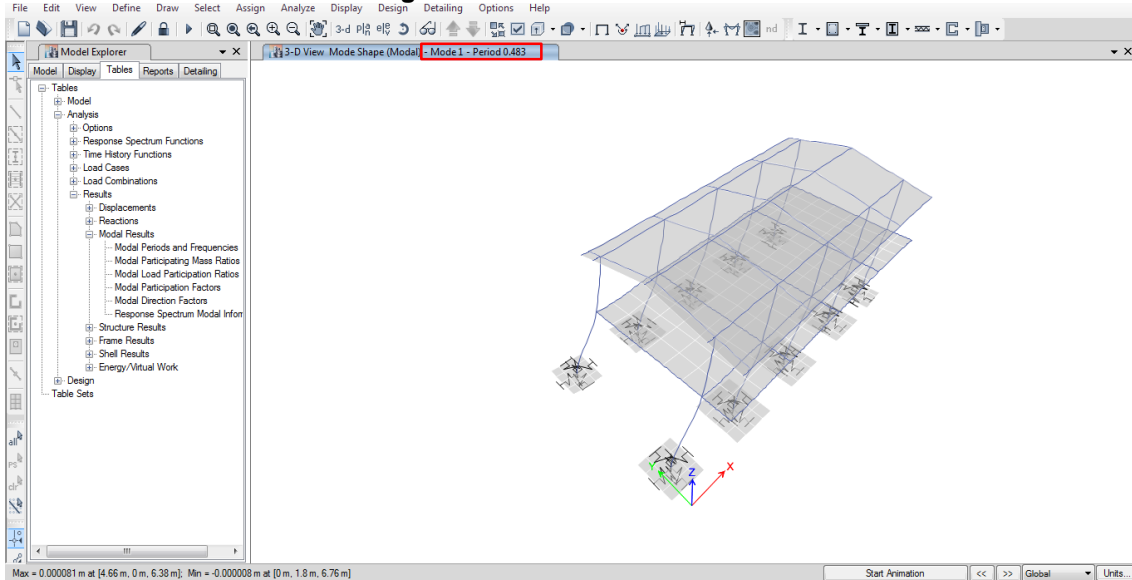
Caso	Modo	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.483	0.955	0.000	0.000	0.000	0.032	0.006
Modal	2	0.365	0.002	0.587	0.000	0.019	0.000	0.373
Modal	3	0.339	0.003	0.366	0.000	0.024	0.001	0.581
Modal	4	0.165	0.017	0.000	0.000	0.000	0.795	0.000
Modal	5	0.111	0.000	0.027	0.000	0.806	0.000	0.000
Modal	6	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.018

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.7).

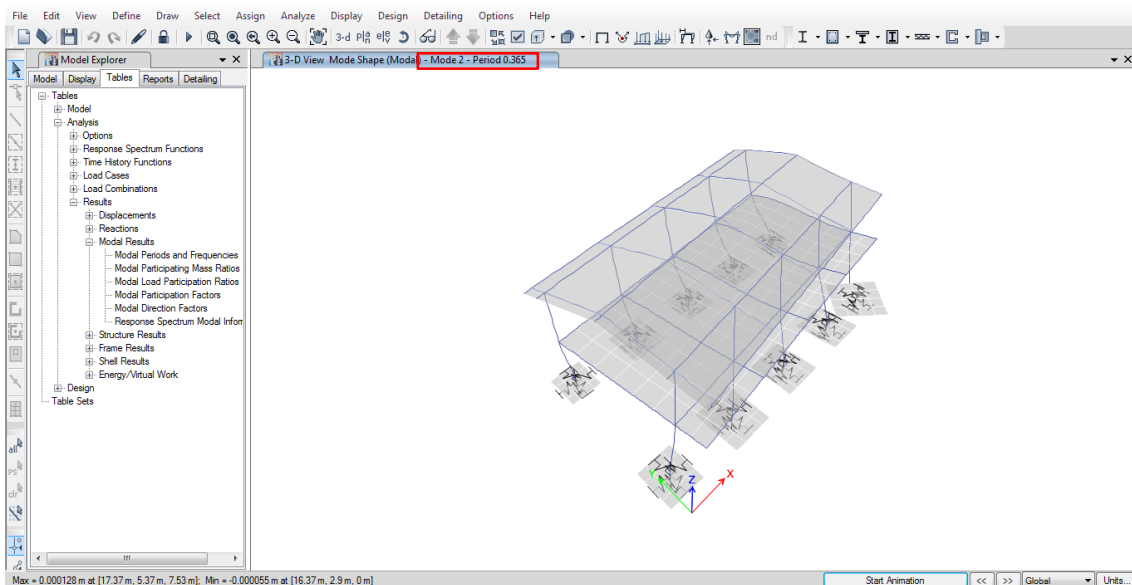
**Figura N° 6.7. Primer modo de vibración.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" con una leve rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N°6.8).

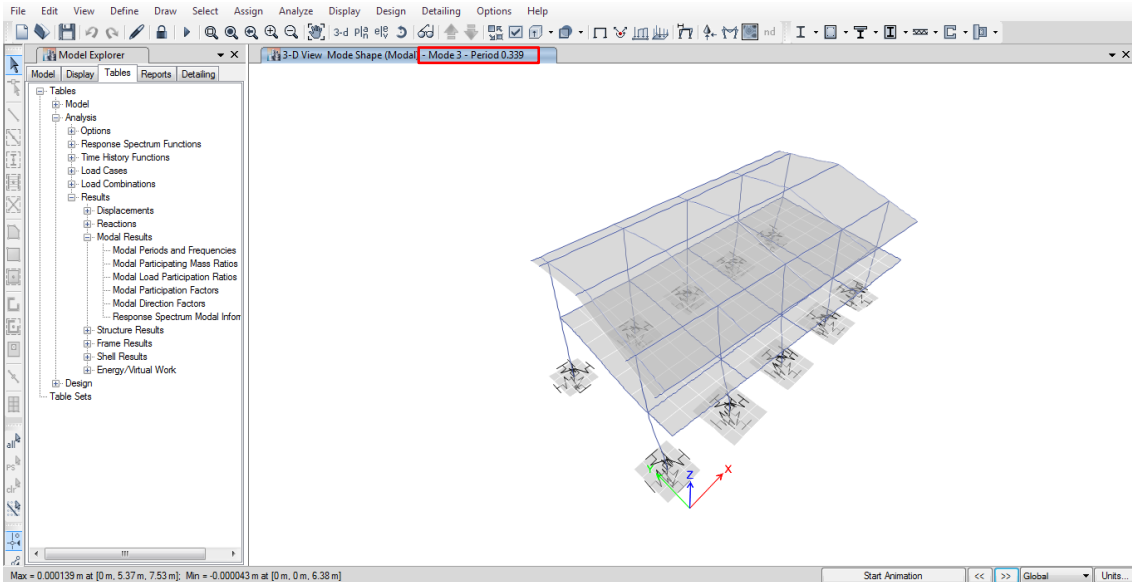
**Figura N° 6.8. Segundo modo de vibración.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje “Z” con una leve traslación en el eje “Y” (ver figura N° 6.9).

**Figura N° 6.9.** Tercer modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

### 6.3.3. Desplazamientos de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.31.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	8.59	4.63

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección “X” es de 8.59 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección “Y” es de 4.63 cm.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.32.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 01	D1	8.34	4.06

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección “X” es de 8.34 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección “Y” es de 4.06 cm.

#### 6.3.4. Derivas de entrepiso:

##### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.33.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp X	0.0244	2.44
Piso 01	Desp Y	0.0147	1.47

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0244 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0147 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

##### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.34.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp din X Max	0.0244	2.44
Piso 01	Desp din Y Max	0.0156	1.56

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0244 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0156 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

#### 6.3.5. Peso total de la estructura: El peso total de la estructura es de 267.22 Tn.

**Tabla N° 6.35.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	5.35
Piso 01	21.25
Base	0.64
<b>Masa total</b>	<b>27.24</b>
<b>Peso total</b>	<b>267.22</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.3.6. Fuerza cortante en la base (V<sub>b</sub>): La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.



**Tabla N° 6.36.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	67.11	68.49	54.79	Cumple
YY	60.85	68.49	54.79	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.3.7. Fuerzas internas máximas:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.37.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.81	7.94	14.29
YY	6.32	8.85	17.17

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.38.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	6.38	8.03	14.41
YY	5.41	8.67	16.62

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.3.8. Fuerzas cortantes por piso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.39.** Fuerzas cortantes – dirección “X”.

Piso	Load case/combo	V <sub>x</sub> (Tn)
Techo	Sismo X	24.07
Piso 01	Sismo X	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.40.** Fuerzas cortantes - dirección “Y”.

Piso	Load case/combo	V <sub>y</sub> (Tn)
Techo	Sismo Y	24.07
Piso 01	Sismo Y	68.49

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.41.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	17.42
Piso 01	EQ-XX Máx	67.11

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.42.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	16.74
Piso 01	EQ-YY Máx	60.85

Fuente: Elaboración propia, 2015

#### 6.4. Edificio módulo "C" con base empotrada.

**6.4.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.568 segundos.

**Tabla N° 6.43.** Periodos de la estructura con base empotrada.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.568
Modal	2	0.414
Modal	3	0.376
Modal	4	0.183
Modal	5	0.141
Modal	6	0.127
Modal	7	0.118
Modal	8	0.088
Modal	9	0.082

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.4.2. Modos de vibración de la estructura:

**Tabla N° 6.44.** Modos de vibración de la estructura.

Caso	Modo	Periodo (seg)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	<b>1</b>	0.568	<b>0.919</b>	0.000	0.000	0.000	0.091	0.002
Modal	<b>2</b>	0.414	0.000	<b>0.812</b>	0.000	0.117	0.000	0.074
Modal	<b>3</b>	0.376	0.001	0.078	0.000	0.011	0.001	<b>0.819</b>
Modal	4	0.183	0.066	0.000	0.000	0.000	0.896	0.000
Modal	5	0.141	0.013	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
Modal	6	0.127	0.000	0.079	0.000	0.801	0.000	0.000
Modal	7	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.074

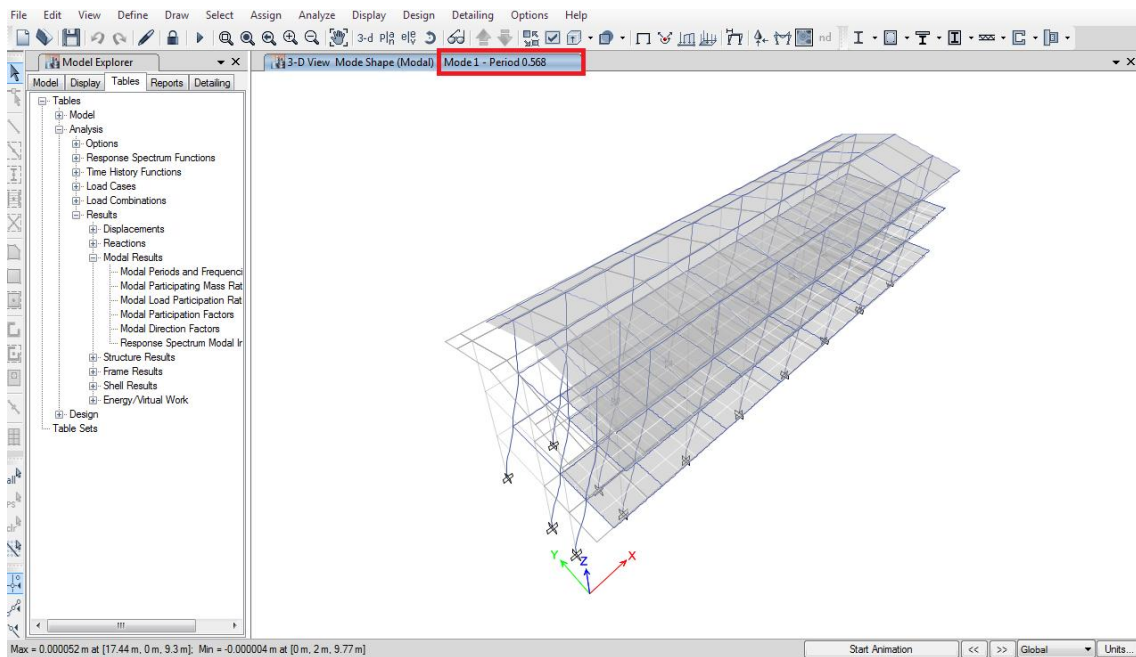
Modal	8	0.088	0.000	0.025	0.000	0.054	0.000	0.004
Modal	9	0.082	0.000	0.006	0.000	0.013	0.000	0.026

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.10).

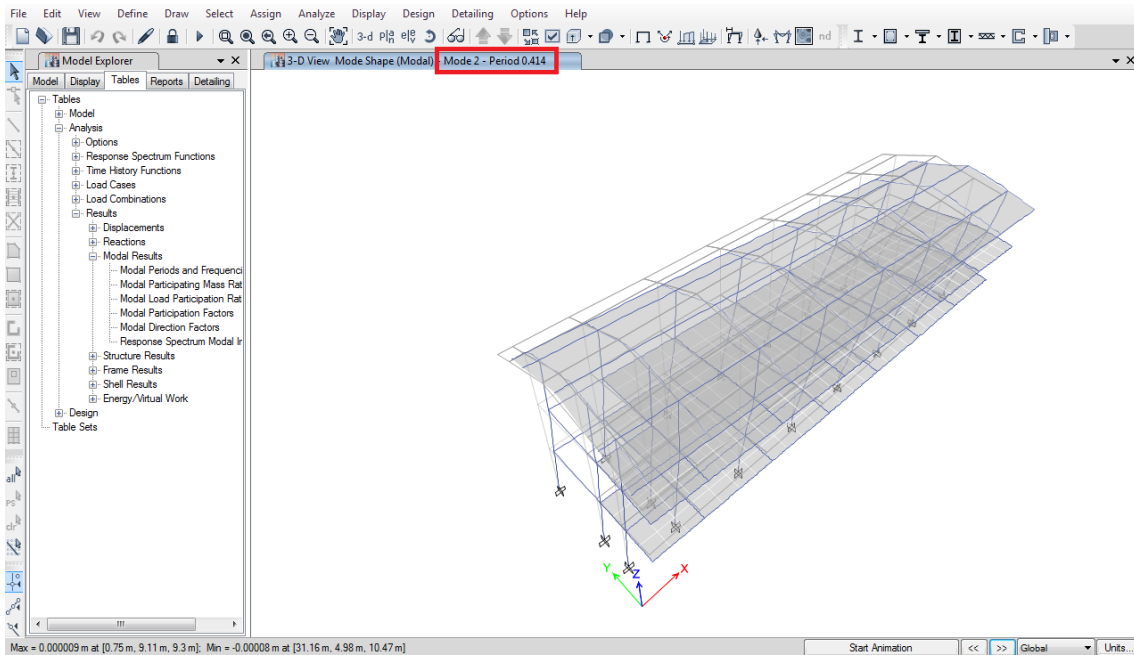
Figura N° 6.10. Primer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" (ver figura N° 6.11).

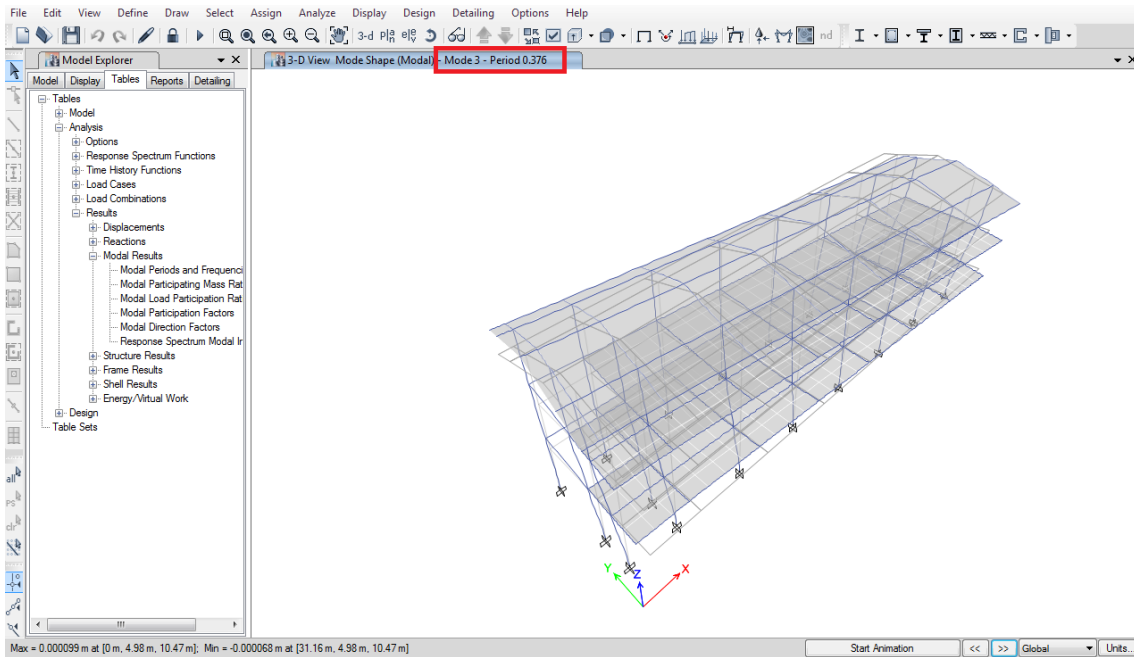
**Figura N° 6.11.** Segundo modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.12).

**Figura N° 6.12.** Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 6.4.3. Desplazamientos de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.45.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	15.04	7.82
Piso 01	D1	7.76	3.60

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 15.04 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 7.82 cm.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.46.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	13.64	6.67
Piso 01	D1	7.16	3.09

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 13.64 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 6.67 cm.

#### 6.4.4. Derivas de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.47.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0229	2.29
Piso 02	Desp Y	0.0160	1.60
Piso 01	Desp X	0.0243	2.43
Piso 01	Desp Y	0.0128	1.28

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0243 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0160 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.48.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0209	2.09
Piso 02	Desp din Y Max	0.0161	1.61
Piso 01	Desp din X Max	0.0226	2.26
Piso 01	Desp din Y Max	0.0131	1.31

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0226 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0161 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

**6.4.5. Peso total de la estructura:** El peso total de la estructura es de 673.16 Tn.

**Tabla N° 6.49.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	9.10
Piso 02	34.45
Piso 01	23.99
Base	1.08
<b>Masa total</b>	<b>68.62</b>
<b>Peso total</b>	<b>673.16</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.4.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.50.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	160.62	173.86	139.09	Cumple
YY	149.86	173.86	139.09	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.4.7. Fuerzas internas máximas:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.51.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	24.09	13.49	20.20
YY	35.93	14.10	29.99

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.52.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	21.91	12.20	18.27
YY	31.68	14.57	30.85

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.4.8. Fuerzas cortantes por piso:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.53.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	Sismo X	42.21
Piso 02	Sismo X	139.86
Piso 01	Sismo X	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.54.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	42.21
Piso 02	Sismo Y	139.86
Piso 01	Sismo Y	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.55.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	31.27
Piso 02	EQ-XX Máx	125.55
Piso 01	EQ-XX Máx	160.62

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.56.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	32.97
Piso 02	EQ-YY Máx	120.37
Piso 01	EQ-YY Máx	149.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 6.5. Edificio módulo "C" con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov)

**6.5.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.596 segundos.

**Tabla N° 6.57.** Periodos de la estructura con base flexible.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.596
Modal	2	0.453
Modal	3	0.420
Modal	4	0.187
Modal	5	0.142
Modal	6	0.134
Modal	7	0.125
Modal	8	0.091
Modal	9	0.084

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.5.2. Modos de vibración de la estructura:

**Tabla N° 6.58.** Modos de vibración de la estructura.

Caso	Modo	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	<b>1</b>	0.596	<b>0.911</b>	0.000	0.000	0.000	0.076	0.003
Modal	<b>2</b>	0.453	0.000	<b>0.861</b>	0.000	0.100	0.000	0.027
Modal	<b>3</b>	0.420	0.003	0.030	0.000	0.003	0.001	<b>0.864</b>
Modal	4	0.187	0.061	0.000	0.000	0.000	0.823	0.000
Modal	5	0.142	0.010	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Modal	6	0.134	0.000	0.075	0.000	0.766	0.000	0.001
Modal	7	0.125	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.070
Modal	8	0.091	0.000	0.016	0.000	0.031	0.000	0.002
Modal	9	0.084	0.000	0.004	0.000	0.008	0.000	0.016

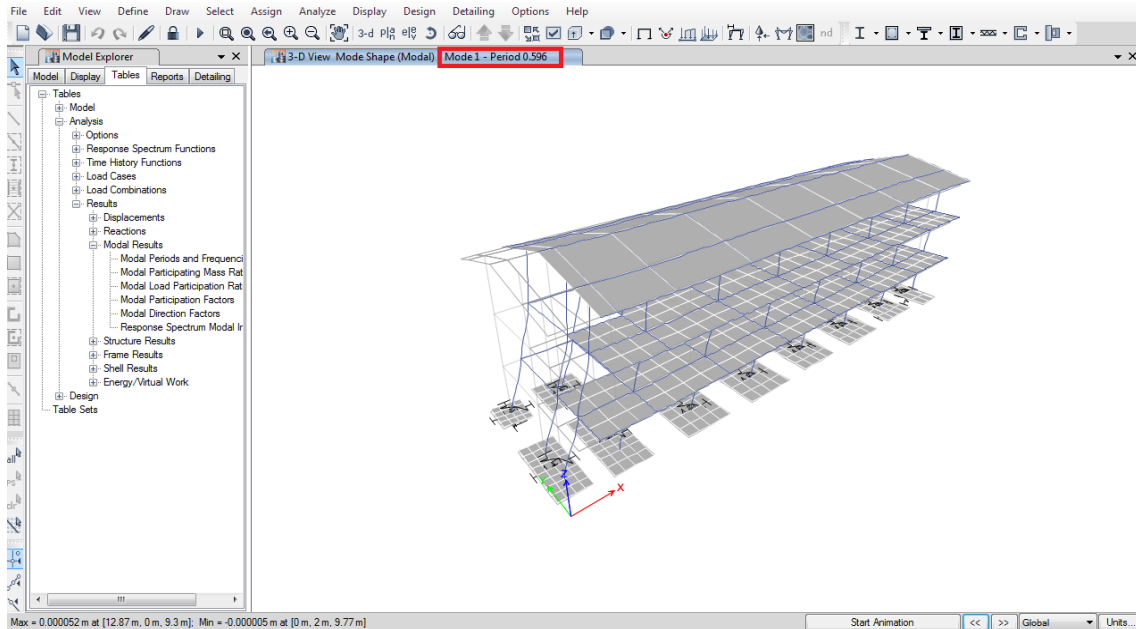
Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:



- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.13).

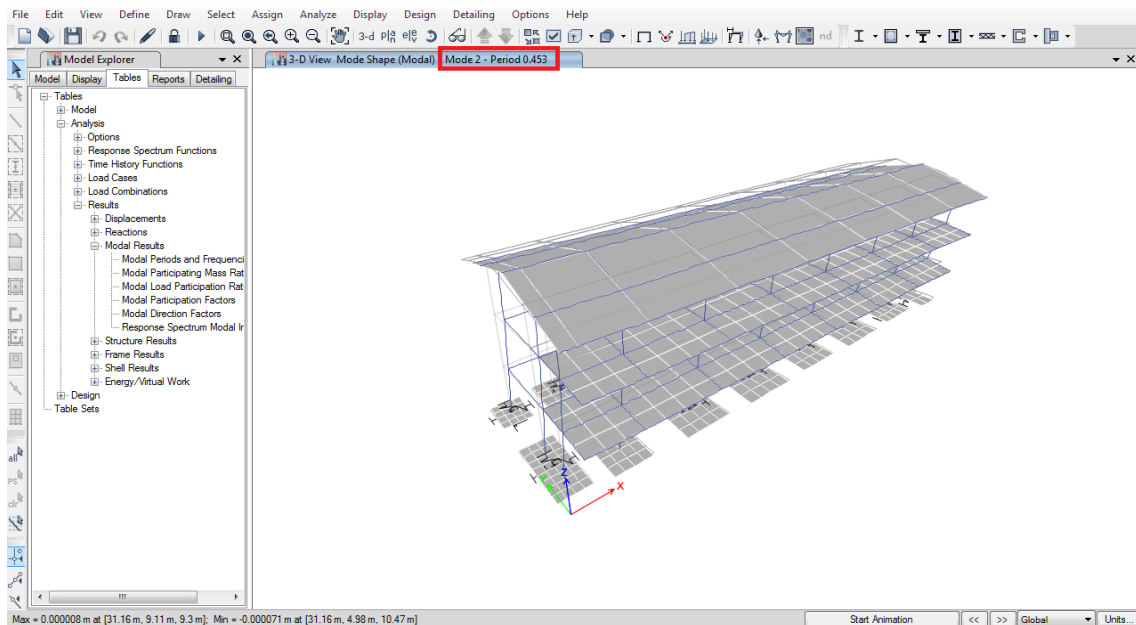
**Figura N° 6.13.** Primer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" (ver figura N° 6.14).

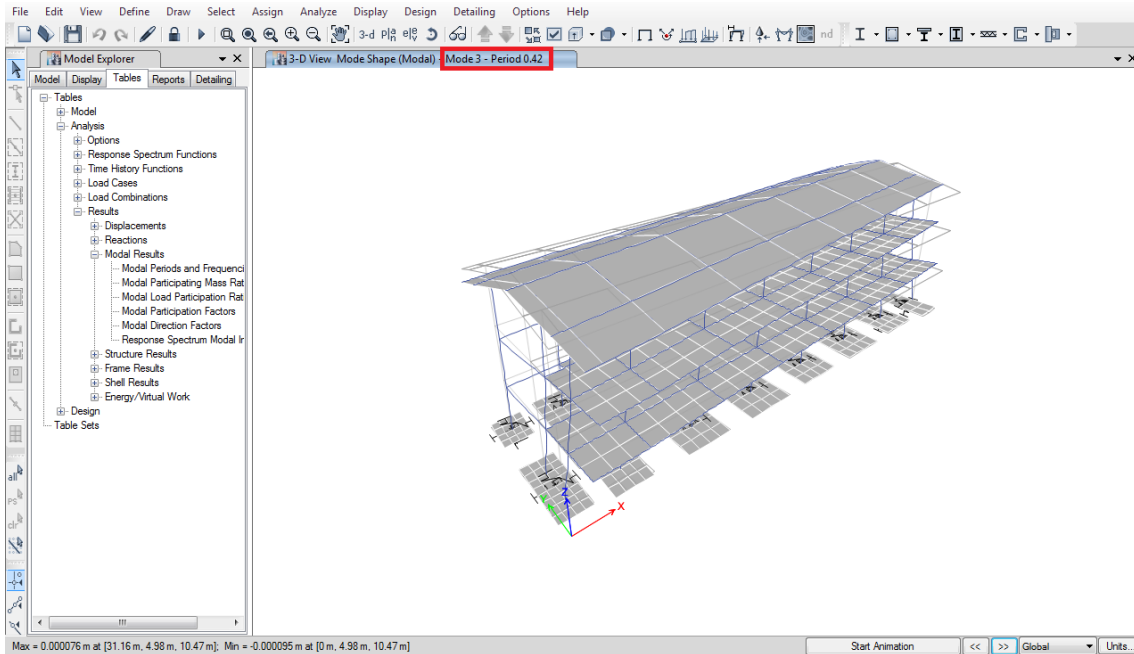
**Figura N° 6.14.** Segundo modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.15).

Figura N° 6.15. Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.5.3. Desplazamientos de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

Tabla N° 6.59. Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	16.41	9.38
Piso 01	D1	8.83	4.68

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 16.41 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 9.38 cm.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

Tabla N° 6.60. Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	14.93	8.30
Piso 01	D1	8.19	4.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 14.93 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 8.30 cm.

#### 6.5.4. Derivas de entrepiso:

##### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.61.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0239	2.39
Piso 02	Desp Y	0.0175	1.75
Piso 01	Desp X	0.0272	2.72
Piso 01	Desp Y	0.0152	1.52

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0272 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0175 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

##### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.62.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0218	2.18
Piso 02	Desp din Y Max	0.0168	1.68
Piso 01	Desp din X Max	0.0255	2.55
Piso 01	Desp din Y Max	0.0149	1.49

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0255 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0168 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

**6.5.5. Peso total de la estructura:** El peso total de la estructura es de 673.16 Tn.

**Tabla N° 6.63.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	9.10
Piso 02	34.45
Piso 01	23.99
Base	1.08
<b>Masa total</b>	<b>68.62</b>
<b>Peso total</b>	<b>673.16</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.5.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.64.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	161.70	173.86	139.09	Cumple
YY	156.42	173.86	139.09	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.5.7. Fuerzas internas máximas:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.65.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	19.26	12.35	20.78
YY	24.35	13.80	27.80

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.66.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	18.01	11.61	19.52
YY	22.55	13.23	27.36

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.5.8. Fuerzas cortantes por piso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.67.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	Sismo X	42.21
Piso 02	Sismo X	139.86
Piso 01	Sismo X	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.68.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	42.21
Piso 02	Sismo Y	139.86
Piso 01	Sismo Y	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.69.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	31.06
Piso 02	EQ-XX Máx	125.22
Piso 01	EQ-XX Máx	161.70

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.70.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	33.53
Piso 02	EQ-YY Máx	123.63
Piso 01	EQ-YY Máx	156.42

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 6.6. Edificio módulo "C" con base flexible (modelo dinámico de la Norma Rusa)

**6.6.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.593 segundos.

**Tabla N° 6.71.** Periodos de la estructura con base flexible.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.593
Modal	2	0.445

Modal	3	0.411
Modal	4	0.187
Modal	5	0.142
Modal	6	0.133
Modal	7	0.124
Modal	8	0.090
Modal	9	0.084

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.6.2. Modos de vibración de la estructura:

Tabla N° 6.72. Modos de vibración de la estructura.

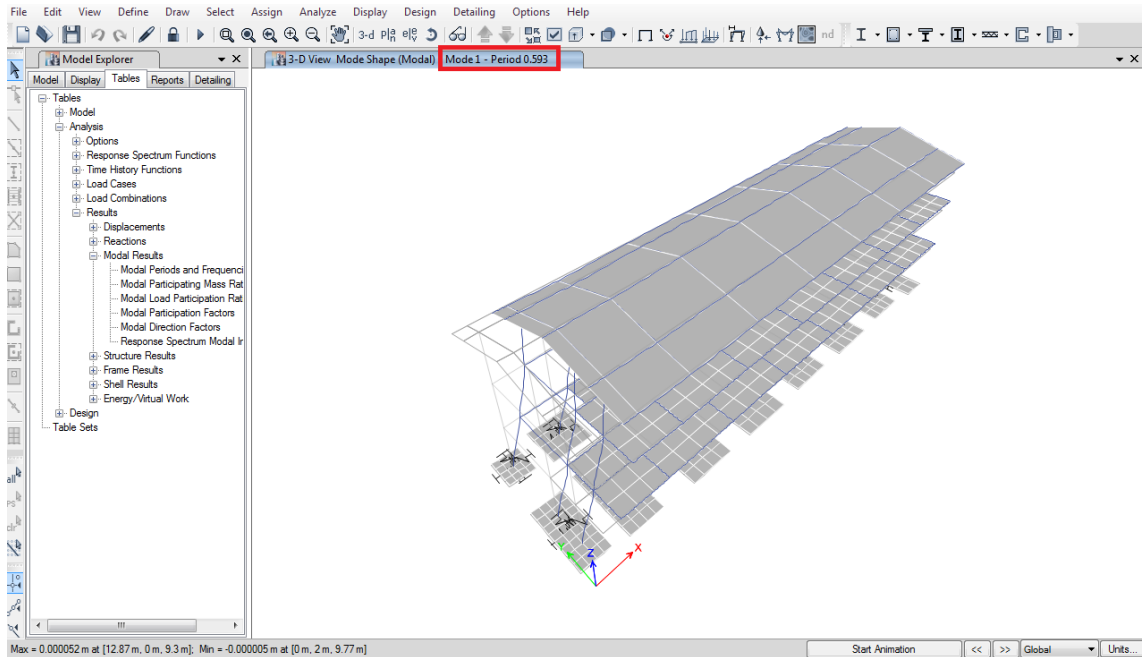
Caso	Modo	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.593	0.911	0.000	0.000	0.000	0.077	0.003
Modal	2	0.445	0.000	0.838	0.000	0.101	0.000	0.046
Modal	3	0.411	0.002	0.049	0.000	0.006	0.001	0.842
Modal	4	0.187	0.062	0.000	0.000	0.000	0.823	0.000
Modal	5	0.142	0.010	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Modal	6	0.133	0.000	0.078	0.000	0.759	0.000	0.001
Modal	7	0.124	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.072
Modal	8	0.090	0.000	0.018	0.000	0.035	0.000	0.003
Modal	9	0.084	0.000	0.004	0.000	0.008	0.000	0.018

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.16).

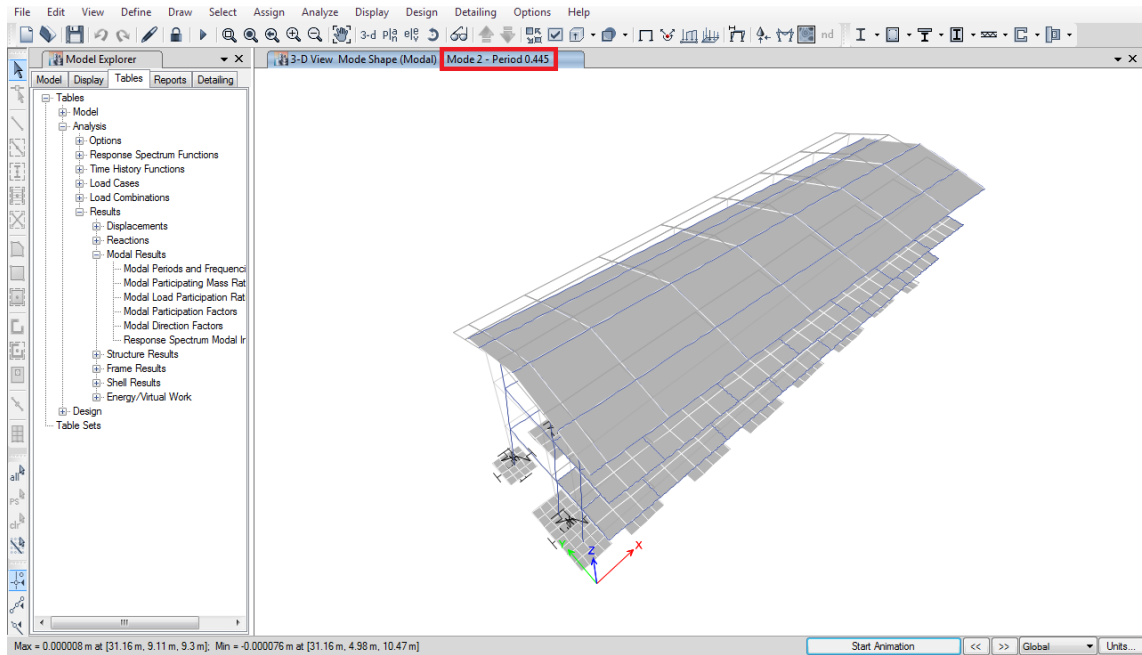
**Figura N° 6.16. Primer modo de vibración.**



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje “Y” (ver figura N° 6.17).

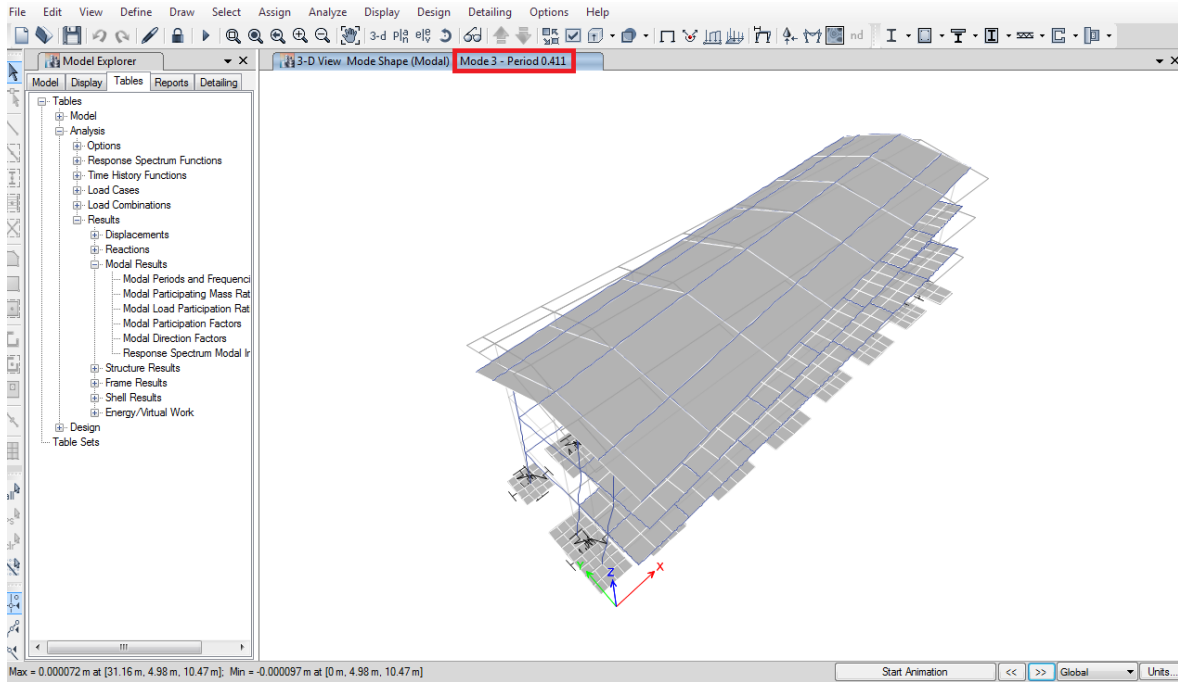
**Figura N° 6.17. Segundo modo de vibración.**



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.18).

Figura N° 6.18. Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.6.3. Desplazamientos de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

Tabla N° 6.73. Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	16.25	9.03
Piso 01	D1	8.70	4.41

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 16.25 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 9.03 cm.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

Tabla N° 6.74. Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	14.79	7.90
Piso 01	D1	8.07	3.91

Fuente: Elaboración propia, 2015.



- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 14.79 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 7.90 cm.

#### 6.6.4. Derivas de entrepiso:

##### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.75.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0238	2.38
Piso 02	Desp Y	0.0173	1.73
Piso 01	Desp X	0.0267	2.67
Piso 01	Desp Y	0.0143	1.43

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0267 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0173 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

##### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.76.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0217	2.17
Piso 02	Desp din Y Max	0.0169	1.69
Piso 01	Desp din X Max	0.0250	2.50
Piso 01	Desp din Y Max	0.0139	1.39

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0250 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0169 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

#### 6.6.5. Peso total de la estructura: El peso total de la estructura es de 673.16 Tn.

**Tabla N° 6.77.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	9.10
Piso 02	34.45

Piso 01	23.99
Base	1.08
<b>Masa total</b>	<b>68.62</b>
<b>Peso total</b>	<b>673.16</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.6.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

Tabla N° 6.78. Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	161.62	173.86	139.09	Cumple
YY	154.40	173.86	139.09	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.6.7. Fuerzas internas máximas:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

Tabla N° 6.79. Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	19.57	12.15	20.49
YY	28.15	13.76	28.40

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

Tabla N° 6.80. Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	18.16	11.41	19.22
YY	25.63	13.11	27.92

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.6.8. Fuerzas cortantes por piso:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

Tabla N° 6.81. Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	V <sub>x</sub> (Tn)
Techo	Sismo X	42.21
Piso 02	Sismo X	139.86
Piso 01	Sismo X	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.82.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	42.21
Piso 02	Sismo Y	139.86
Piso 01	Sismo Y	173.86

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.83.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	31.10
Piso 02	EQ-XX Máx	125.30
Piso 01	EQ-XX Máx	161.62

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.84.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	33.49
Piso 02	EQ-YY Máx	122.58
Piso 01	EQ-YY Máx	154.40

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.7. SS. HH. del módulo "C" con base empotrada.**

**6.7.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.575 segundos.

**Tabla N° 6.85.** Periodos de la estructura con base empotrada.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.575
Modal	2	0.418
Modal	3	0.402
Modal	4	0.183
Modal	5	0.139
Modal	6	0.129
Modal	7	0.121
Modal	8	0.093
Modal	9	0.084

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.7.2. Modos de vibración de la estructura:

Tabla N° 6.86. Modos de vibración de la estructura.

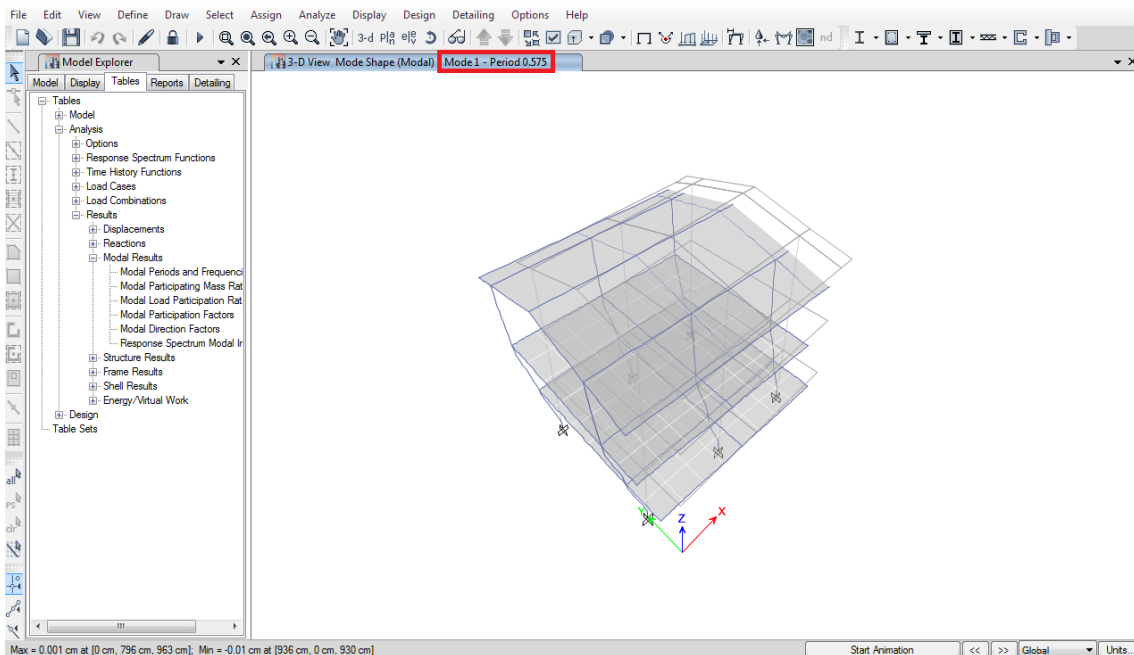
Caso	Mode	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.575	0.903	0.000	0.000	0.000	0.093	0.014
Modal	2	0.418	0.012	0.233	0.000	0.045	0.002	0.656
Modal	3	0.402	0.003	0.655	0.000	0.087	0.001	0.235
Modal	4	0.183	0.070	0.000	0.000	0.000	0.876	0.002
Modal	5	0.139	0.012	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
Modal	6	0.129	0.000	0.020	0.000	0.198	0.016	0.051
Modal	7	0.121	0.000	0.063	0.000	0.611	0.004	0.019
Modal	8	0.093	0.000	0.002	0.000	0.009	0.000	0.021
Modal	9	0.084	0.000	0.027	0.000	0.044	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.19).

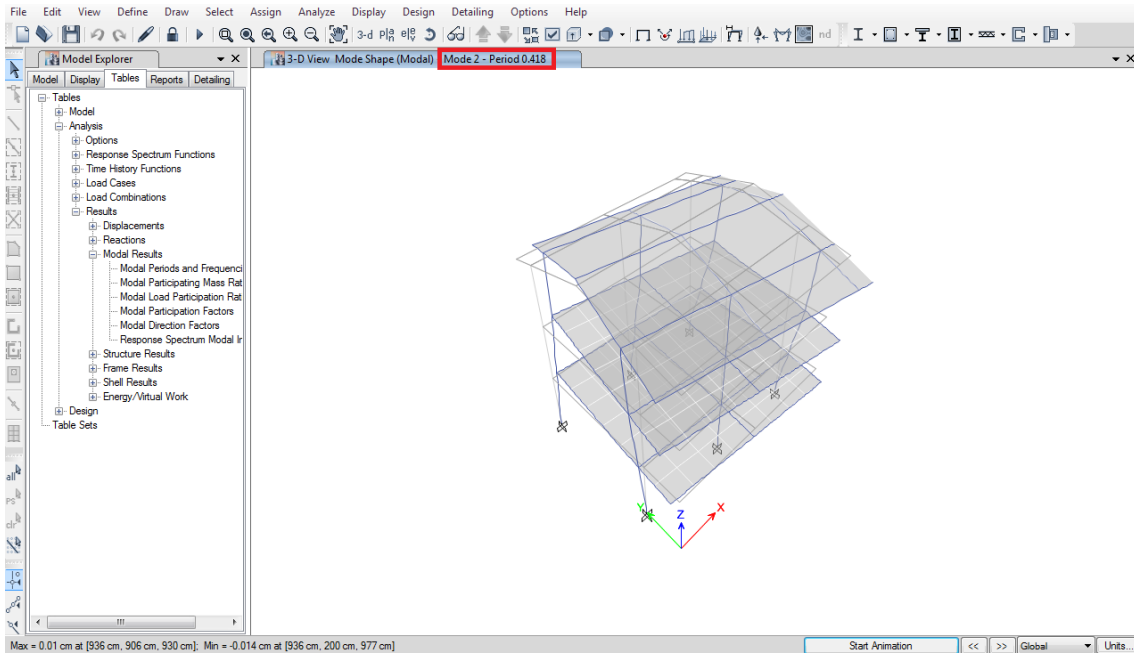
Figura N° 6.19. Primer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje "Z" con una leve traslación en el eje "Y" (ver figura N° 6.20).

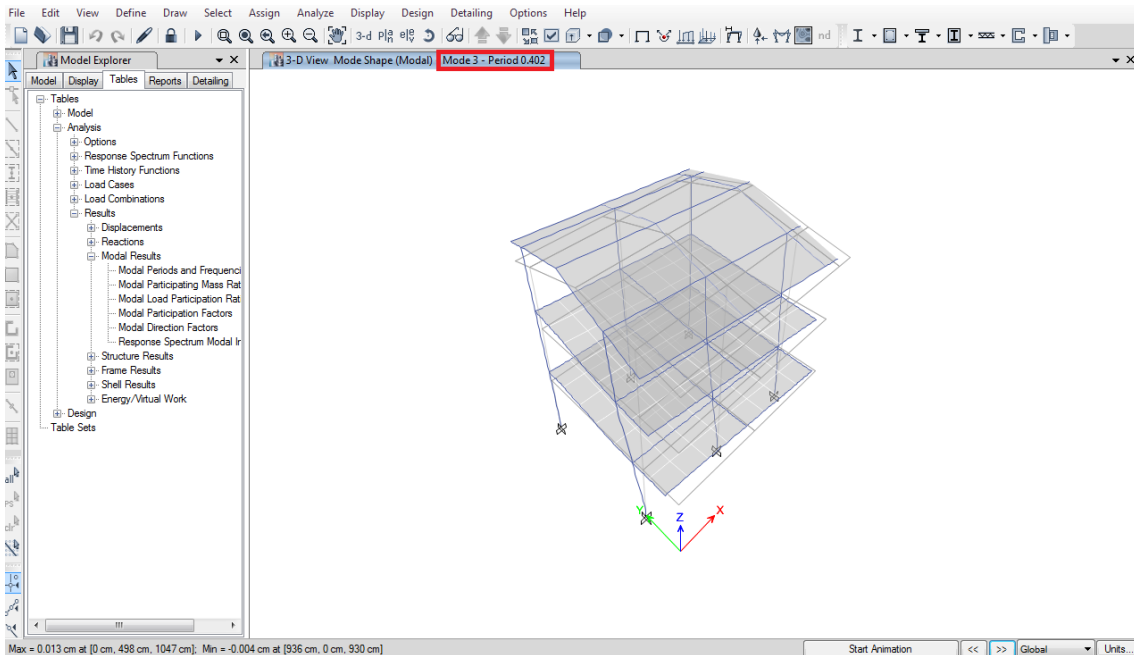
**Figura N° 6.20.** Segundo modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una traslación en el eje “Y” con una leve rotación alrededor del eje “Z” (ver figura N° 6.21).

**Figura N° 6.21.** Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.7.3. Desplazamientos de entrepiso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.87.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	15.37	7.77
Piso 01	D1	7.84	3.55

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 15.37 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 7.77 cm.

#### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.88.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	13.81	6.68
Piso 01	D1	7.17	3.07

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 13.81 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 6.68 cm.

### 6.7.4. Derivas de entrepiso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.89.** Deriva de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0245	2.45
Piso 02	Desp Y	0.0144	1.44
Piso 01	Desp X	0.0251	2.51
Piso 01	Desp Y	0.0121	1.21

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0251 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0144 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.90.** Deriva de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0244	2.44
Piso 02	Desp din Y Max	0.0122	1.22
Piso 01	Desp din X Max	0.0244	2.44
Piso 01	Desp din Y Max	0.0106	1.06

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0244 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0122 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

**6.7.5. Peso total de la estructura:** El peso total de la estructura es de 230.24 Tn.

**Tabla N° 6.91.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	2.80
Piso 02	11.61
Piso 01	8.26
Base	0.38
<b>Masa total</b>	<b>23.47</b>
<b>Peso total</b>	<b>230.24</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.7.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.92.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	53.06	58.35	46.68	Cumple
YY	50.76	58.35	46.68	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.7.7. Fuerzas internas máximas:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.93.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	16.73	12.37	20.69
YY	16.93	12.47	26.19

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.94.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	15.82	12.06	20.16
YY	14.31	10.85	22.73

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.7.8. Fuerzas cortantes por piso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.95.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	Sismo X	13.16
Piso 02	Sismo X	46.50
Piso 01	Sismo X	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.96.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	13.16
Piso 02	Sismo Y	46.50
Piso 01	Sismo Y	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.97.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	9.60
Piso 02	EQ-XX Máx	41.19
Piso 01	EQ-XX Máx	53.06

Fuente: Elaboración propia, 2015.



**Tabla N° 6.98.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	10.28
Piso 02	EQ-YY Máx	40.48
Piso 01	EQ-YY Máx	50.76

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 6.8. SS. HH. del módulo "C" con base flexible (modelo dinámico de D. D. Barkan – O. A. Savinov)

**6.8.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.613 segundos.

**Tabla N° 6.99.** Periodos de la estructura con base empotrada.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.613
Modal	2	0.451
Modal	3	0.428
Modal	4	0.187
Modal	5	0.140
Modal	6	0.134
Modal	7	0.127
Modal	8	0.095
Modal	9	0.086

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.8.2. Modos de vibración de la estructura:

**Tabla N° 6.100.** Modos de vibración de la estructura.

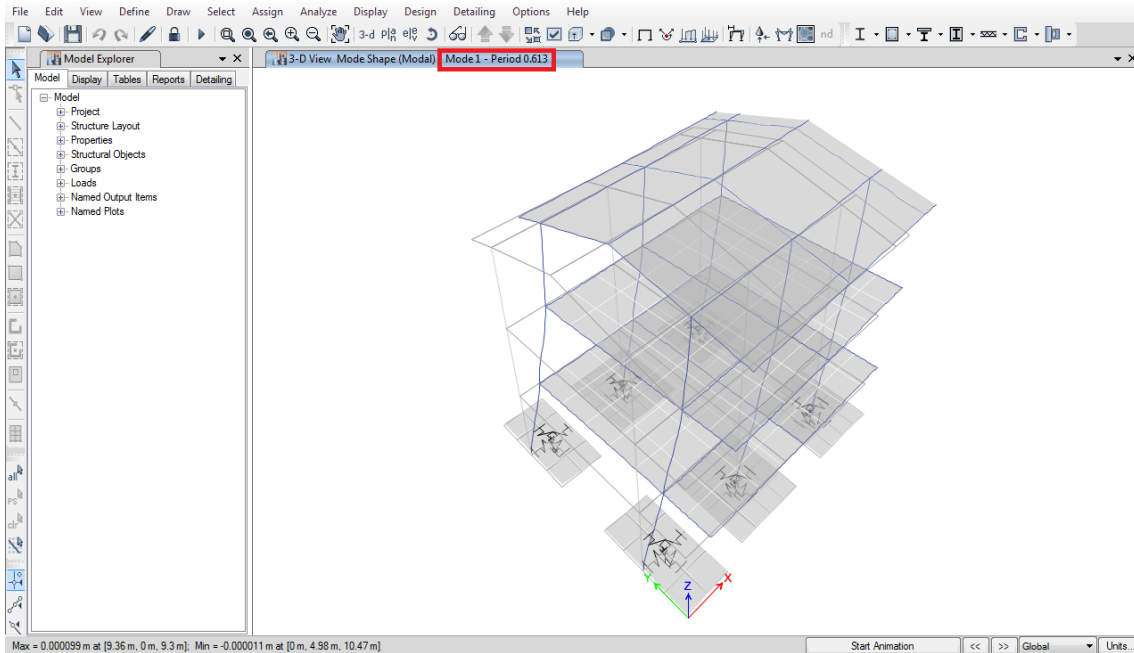
Caso	Modo	Periodo (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.613	0.897	0.000	0.000	0.000	0.081	0.012
Modal	2	0.451	0.004	0.637	0.000	0.083	0.001	0.254
Modal	3	0.428	0.008	0.252	0.000	0.023	0.002	0.636
Modal	4	0.187	0.066	0.000	0.000	0.000	0.796	0.002
Modal	5	0.140	0.009	0.000	0.000	0.005	0.001	0.001
Modal	6	0.134	0.000	0.027	0.000	0.290	0.015	0.037
Modal	7	0.127	0.000	0.051	0.000	0.478	0.007	0.025
Modal	8	0.095	0.000	0.002	0.000	0.006	0.000	0.014
Modal	9	0.086	0.000	0.016	0.000	0.023	0.000	0.001

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.22).

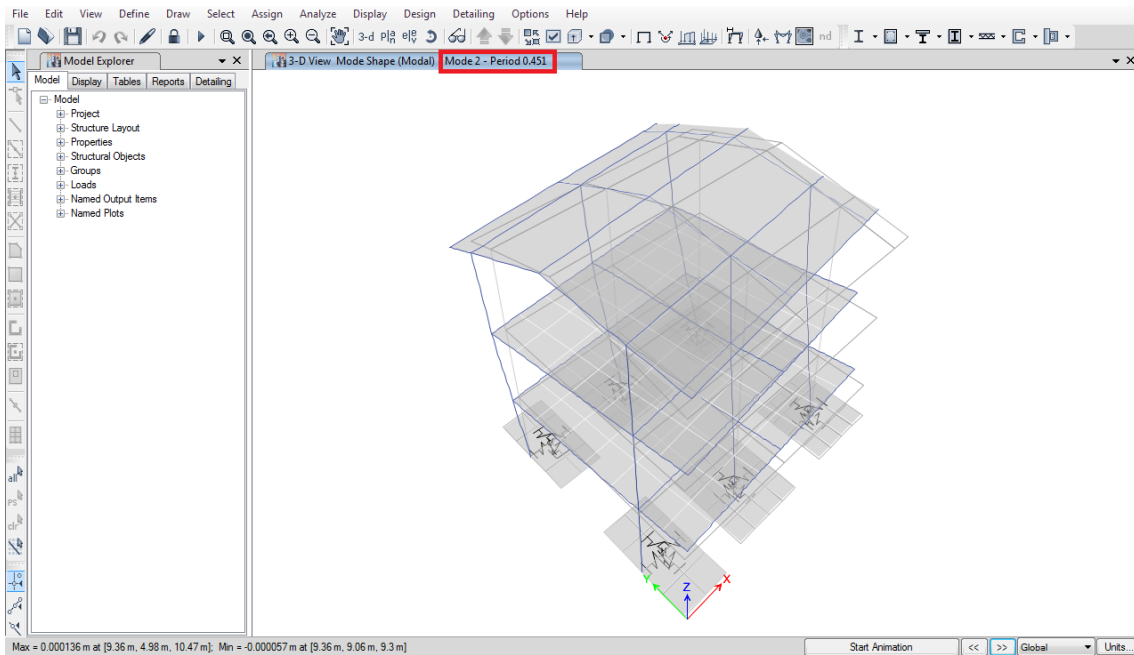
**Figura N° 6.22.** Primer modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" con una leve rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.23).

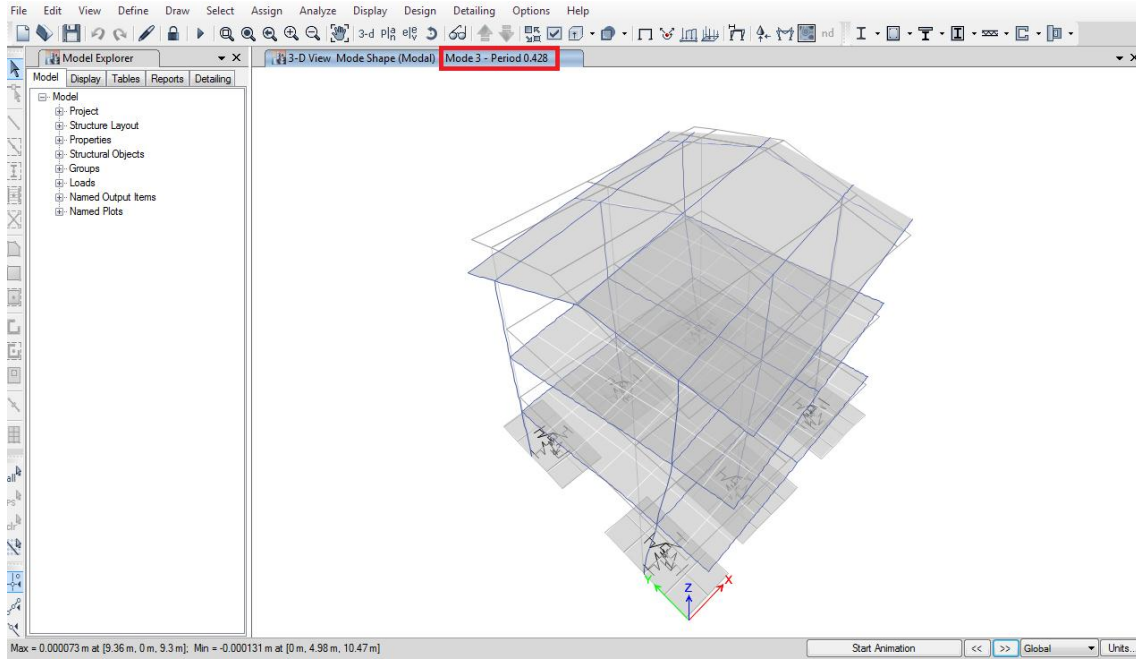
**Figura N° 6.23.** Segundo modo de vibración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje “Z” con una leve traslación en el eje “Y” (**ver figura N° 6.24**).

**Figura N° 6.24.** Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.8.3. Desplazamientos de entrepiso:

- **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.101.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	17.34	9.22
Piso 01	D1	9.20	4.56

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección “X” es de 17.34 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección “Y” es de 9.22 cm.

- **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.102.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	15.63	7.86
Piso 01	D1	8.45	3.93

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 15.63 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 7.86 cm.

#### 6.8.4. Derivas de entrepiso:

##### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.103.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0264	2.64
Piso 02	Desp Y	0.0156	1.56
Piso 01	Desp X	0.0289	2.89
Piso 01	Desp Y	0.0155	1.55

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0289 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0156 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

##### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.104.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0261	2.61
Piso 02	Desp din Y Max	0.0141	1.41
Piso 01	Desp din X Max	0.0281	2.81
Piso 01	Desp din Y Max	0.0143	1.43

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0281 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0143 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

#### 6.8.5. Peso total de la estructura: El peso total de la estructura es de 230.24 Tn.

**Tabla N° 6.105.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	2.80
Piso 02	11.61
Piso 01	8.26

Base	0.38
<b>Masa total</b>	<b>23.47</b>
<b>Peso total</b>	<b>230.24</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.8.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.106.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	53.51	58.35	46.68	Cumple
YY	50.63	58.35	46.68	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.8.7. Fuerzas internas máximas:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.107.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	14.52	13.20	21.98
YY	19.11	12.66	25.25

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.108.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	17.38	12.95	21.51
YY	16.13	11.00	21.83

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.8.8. Fuerzas cortantes por piso:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.109.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	V <sub>x</sub> (Tn)
Techo	Sismo X	13.16
Piso 02	Sismo X	46.50
Piso 01	Sismo X	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.110.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	13.16
Piso 02	Sismo Y	46.50
Piso 01	Sismo Y	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.111.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	9.67
Piso 02	EQ-XX Máx	41.20
Piso 01	EQ-XX Máx	53.51

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.112.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	10.10
Piso 02	EQ-YY Máx	39.73
Piso 01	EQ-YY Máx	50.63

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.9. SS. HH. del módulo "C" con base flexible (modelo dinámico de la Norma Rusa)**

**6.9.1. Periodo natural de vibración:** El periodo natural de vibración de la estructura es de 0.606 segundos.

**Tabla N° 6.113.** Periodos de la estructura con base empotrada.

Caso	Modo	Periodo (seg.)
Modal	1	0.606
Modal	2	0.441
Modal	3	0.424
Modal	4	0.186
Modal	5	0.140
Modal	6	0.133
Modal	7	0.127
Modal	8	0.094
Modal	9	0.086

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 6.9.2. Modos de vibración de la estructura:

Tabla N° 6.114. Modos de vibración de la estructura.

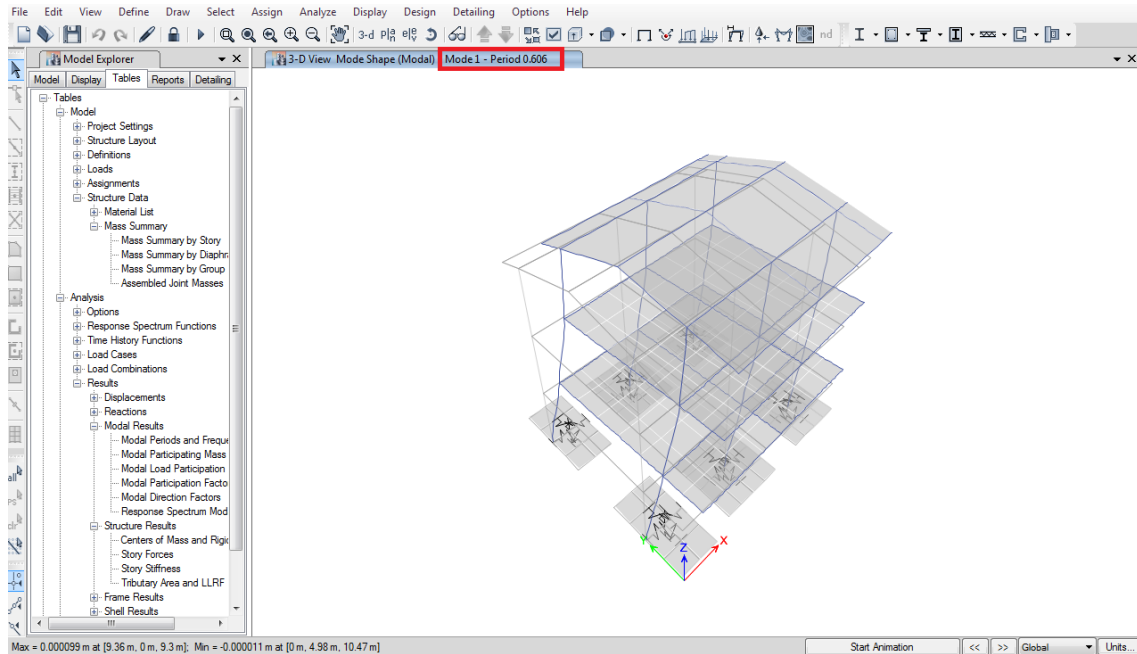
Caso	Modo	Perido (seg.)	DESPLAZAMIENTOS			ROTACIONES		
			UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.606	0.896	0.000	0.000	0.000	0.081	0.012
Modal	2	0.441	0.005	0.608	0.000	0.084	0.001	0.277
Modal	3	0.424	0.008	0.277	0.000	0.026	0.002	0.610
Modal	4	0.186	0.066	0.000	0.000	0.000	0.797	0.002
Modal	5	0.14	0.009	0.000	0.000	0.004	0.001	0.001
Modal	6	0.133	0.000	0.026	0.000	0.252	0.015	0.042
Modal	7	0.127	0.000	0.056	0.000	0.510	0.006	0.023
Modal	8	0.094	0.000	0.002	0.000	0.007	0.000	0.015
Modal	9	0.086	0.000	0.018	0.000	0.026	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A continuación se describen los principales tres primeros modos de vibración que presenta la estructura:

- Primer modo de vibración: Para el primer modo de vibración se tiene una traslación en el eje "X" (ver figura N° 6.25).

Figura N° 6.25. Primer modo de vibración.

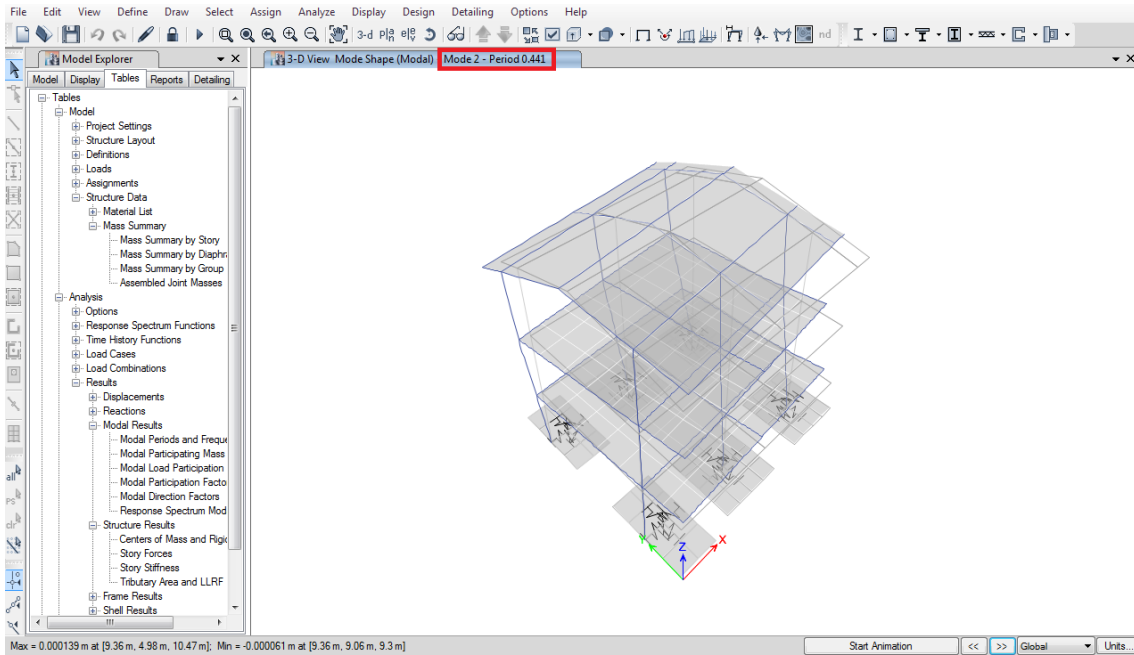


Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Segundo modo de vibración: Para el segundo modo de vibración se tiene una traslación en el eje "Y" con una leve rotación alrededor del eje "Z" (ver figura N° 6.26).



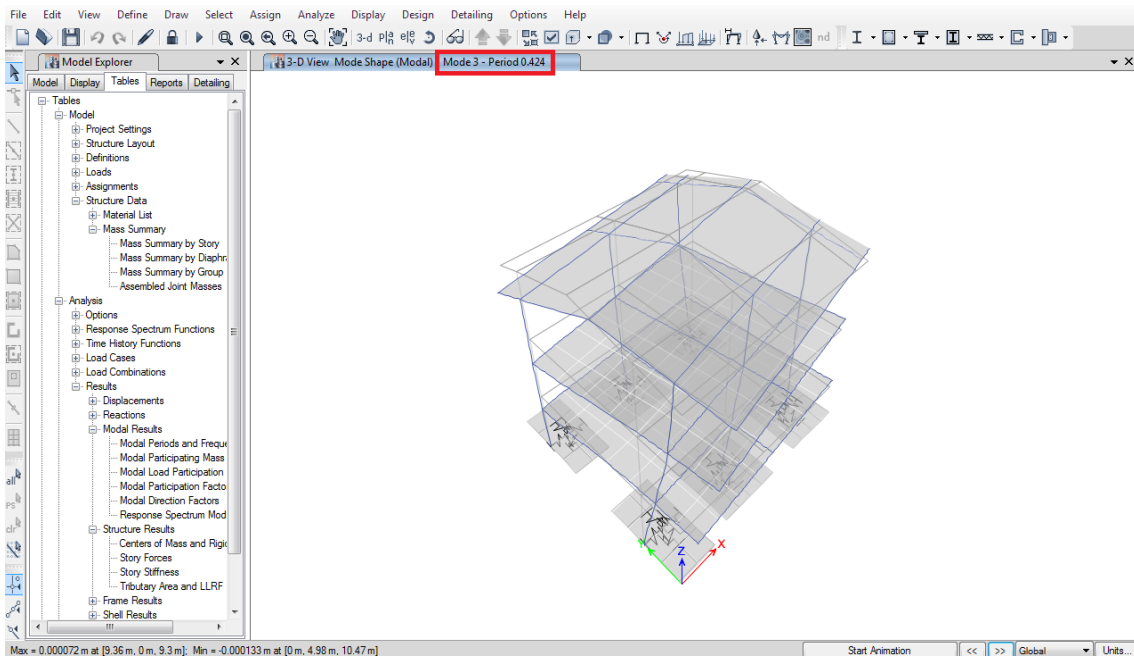
**Figura N° 6.26.** Segundo modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- Tercer modo de vibración: Para el tercer modo de vibración se tiene una rotación alrededor del eje "Z" con una leve traslación en el eje "Y" (ver figura N° 6.27).

**Figura N° 6.27.** Tercer modo de vibración.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



### 6.9.3. Desplazamientos de entrepiso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.115.** Desplazamientos de entrepiso - análisis estático.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	17.00	8.89
Piso 01	D1	8.98	4.30

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 17.00 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 8.89 cm.

#### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.116.** Desplazamientos de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Diafragma	UX (cm)	UY (cm)
Piso 02	D2	15.63	7.86
Piso 01	D1	8.45	3.93

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- El desplazamiento máximo en la dirección "X" es de 15.63 cm.
- El desplazamiento máximo en la dirección "Y" es de 7.86 cm.

### 6.9.4. Derivas de entrepiso:

#### ▪ ANÁLISIS ESTÁTICO:

**Tabla N° 6.117.** Derivas de entrepiso - análisis estático.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	0.0261	2.61
Piso 02	Desp Y	0.0154	1.54
Piso 01	Desp X	0.0281	2.81
Piso 01	Desp Y	0.0142	1.42

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0281 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0154 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

#### ▪ ANÁLISIS DINÁMICO:

**Tabla N° 6.118.** Derivas de entrepiso - análisis dinámico.

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	0.0258	2.58
Piso 02	Desp din Y Max	0.0137	1.37
Piso 01	Desp din X Max	0.0273	2.73
Piso 01	Desp din Y Max	0.0128	1.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- La deriva máxima en la dirección "X" es:  $0.0273 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.
- La deriva máxima en la dirección "Y" es:  $0.0137 \geq 0.007$ , no cumple con lo dispuesto en la norma E.030.

**6.9.5. Peso total de la estructura:** El peso total de la estructura es de 230.24 Tn.

**Tabla N° 6.119.** Masas por piso.

Piso	Masa (tonf-s <sup>2</sup> /m)
Techo	2.80
Piso 02	11.61
Piso 01	8.26
Base	0.38
<b>Masa total</b>	<b>23.47</b>
<b>Peso total</b>	<b>230.24</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.9.6. Fuerza cortante en la base (Vb):** La fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso de del edificio no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante estática.

**Tabla N° 6.120.** Cortantes en la base.

Dirección	V <sub>din</sub> (Tn)	V <sub>est</sub> (Tn)	0.80*V <sub>est</sub> (Tn)	Condición
XX	53.46	58.35	46.68	Cumple
YY	51.26	58.35	46.68	Cumple

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.9.7. Fuerzas internas máximas:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.121.** Fuerzas internas máximas - análisis estático.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	15.12	12.86	21.41
YY	18.18	12.34	25.36

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.122.** Fuerzas internas máximas - análisis dinámico.

Dirección	Fuerza axial (Tn)	Fuerza cortante (Tn)	Momento flector (Tn.m)
XX	17.01	12.61	20.93
YY	15.51	10.85	22.19

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**6.9.8. Fuerzas cortantes por piso:**

▪ **ANÁLISIS ESTÁTICO:**

**Tabla N° 6.123.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	Sismo X	13.16
Piso 02	Sismo X	46.50
Piso 01	Sismo X	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.124.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	Sismo Y	13.16
Piso 02	Sismo Y	46.50
Piso 01	Sismo Y	58.35

Fuente: Elaboración propia, 2015.

▪ **ANÁLISIS DINÁMICO:**

**Tabla N° 6.125.** Fuerzas cortantes - dirección "X".

Piso	Load case/combo	Vx (Tn)
Techo	EQ-XX Máx	9.66
Piso 02	EQ-XX Máx	41.21
Piso 01	EQ-XX Máx	53.46

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.126.** Fuerzas cortantes - dirección "Y".

Piso	Load case/combo	Vy (Tn)
Techo	EQ-YY Máx	10.32
Piso 02	EQ-YY Máx	40.41
Piso 01	EQ-YY Máx	51.26

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

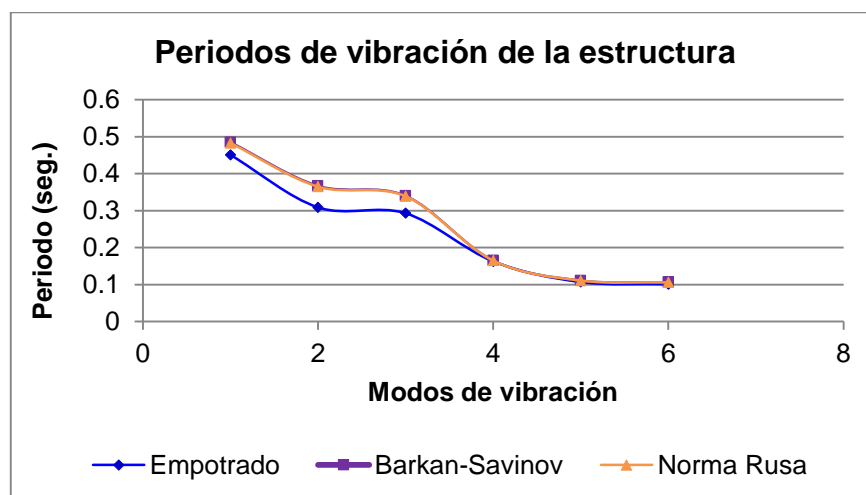
Para la comparación de resultados de fuerzas internas máximas, periodos de vibración y derivas máximas de entrepiso con los modelos de interacción suelo – estructura, respecto al modelo empotrado en la base, se ha considerado el análisis de los módulos “B” y “C” de la institución educativa Julio Ramón Ribeyro.

### 7.1. Edificio módulo “B”

#### 7.1.1. Periodo fundamental de vibración de la estructura:

Al considerar la flexibilidad en la base de fundación incrementa los periodos de las formas de vibración de la estructura. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.1.1, 6.2.1, 6.3.1** se obtuvo la figura N° 7.1 en la cual se puede observar que para los dos modelos dinámicos los valores son casi similares y se produce un incremento notorio en los tres primeros modos de vibración con respecto al modelo empotrado.

**Figura N° 7.1.** Periodos fundamentales de vibración del edificio módulo “B”.



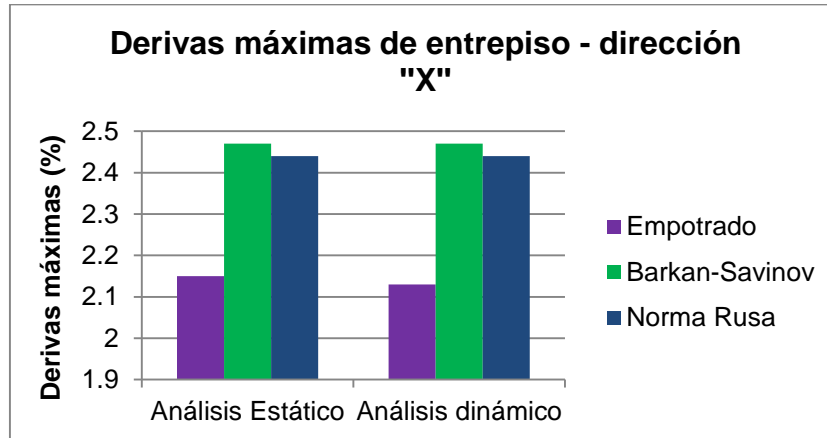
**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

#### 7.1.2. Derivas de entrepiso de la estructura:

La flexibilidad en la base de fundación hace que las derivas de entrepiso se incrementen, las derivas máximas de la estructura se producen en el primer nivel para una fuerza sísmica en la dirección “X”. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.1.4, 6.2.4, 6.3.4** se obtuvo la figura N° 7.2 en la cual se puede observar que las derivas máximas al considerar la base flexible aumentan en comparación con el modelo de base empotrada siendo más notorio en el modelo dinámico de Barkan – Savinov; además se observa que las derivas máximas difieren muy poco para el análisis estático en comparación con el análisis dinámico espectral.

En la dirección "Y" las derivas de entrepiso son menores teniendo una deriva máxima de 1.01% según la tabla N° 6.5 esto se produce debido a que el peralte de las columnas están orientadas en esta dirección haciendo que la estructura en este sentido sea más rígida.

**Figura N° 7.2.** Derivas máximas – dirección "X".

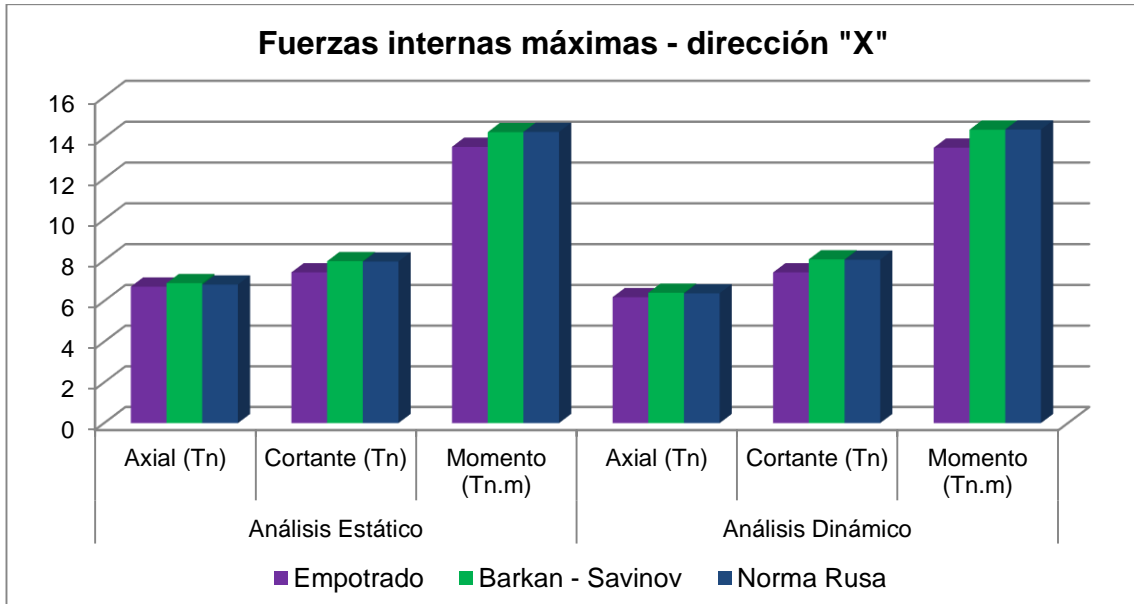


Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 7.1.3. Fuerzas internas en la estructura:

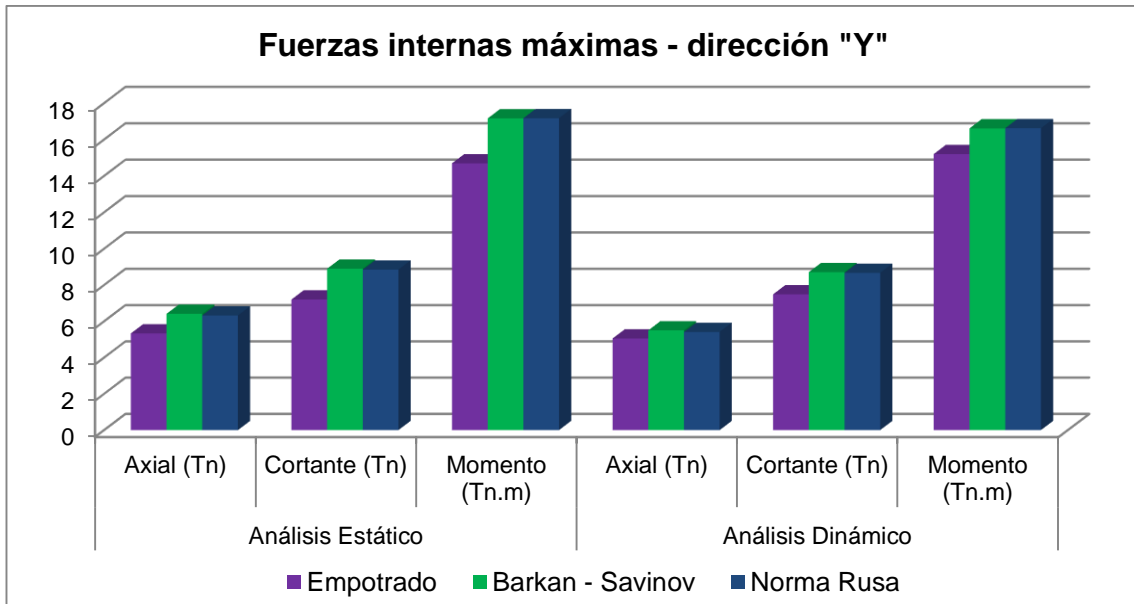
La flexibilidad en la base de fundación permite una mejor distribución de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio; las fuerzas axial, cortante y momento máximas se producen en las columnas del primer nivel de la estructura para una fuerza sísmica en la dirección "Y". Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.1.7, 6.2.7, 6.3.7** se obtuvieron las figuras N° 7.3 y N° 7.4 en las cuales se puede observar que las fuerzas internas máximas aumentan cuando se tiene la base flexible en comparación con el modelo de base empotrada. Este efecto se produce debido a que la estructura es flexible; es decir que la estructura no es lo suficiente rígida lateralmente en ninguna de las dos direcciones; cumpliéndose tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico espectral, además se observa que los resultados del análisis dinámico son menores que los resultados del análisis estático.

**Figura N° 7.3.** Fuerzas internas máximas – dirección "X".



Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.4.** Fuerzas internas máximas – dirección "Y".



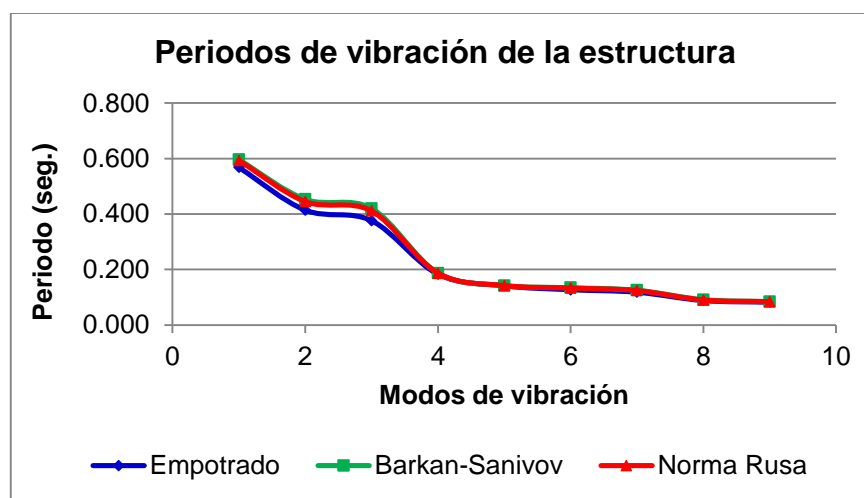
Fuente: Elaboración propia, 2015.

## 7.2. Edificio módulo “C”

### 7.2.1. Periodo fundamental de vibración de la estructura:

Al considerar la flexibilidad en la base de fundación incrementa los periodos de las formas de vibración de la estructura. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.4.1, 6.5.1, 6.6.1** se obtuvo la figura N° 7.5 en la cual se puede observar que para los dos modelos dinámicos se produce un incremento en los tres primeros modos de vibración, sin embargo el incremento más notorio se da para el modelo dinámico de Barkan – Savinov.

**Figura N° 7.5.** Periodos fundamentales de vibración del edificio módulo “C”.



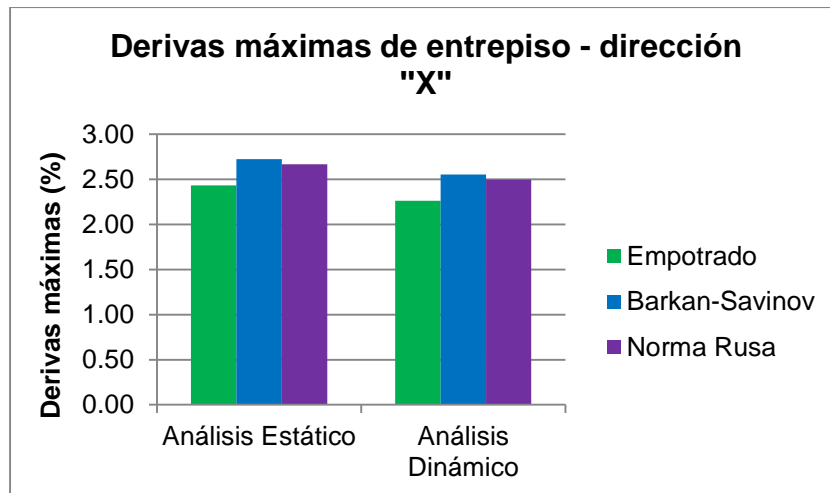
**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

### 7.2.2. Derivas de entrepiso de la estructura:

La flexibilidad en la base de fundación hace que las derivas de entrepiso se incrementen, las derivas máximas de la estructura se producen en el primer nivel para una fuerza sísmica en la dirección “X”. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.4.4, 6.5.4, 6.6.4** se obtuvo figura N° 7.6 en la cual se puede observar que las derivas máximas al considerar la base flexible aumentan en comparación con el modelo de base empotrada siendo más notorio en el modelo dinámico de Barkan – Savinov; además se observa que las derivas máximas son mayores para el análisis estático en comparación con el análisis dinámico espectral.

En la dirección “Y” las derivas de entrepiso son menores teniendo una deriva máxima de 1.6% según la tabla N° 6.47 esto se produce debido a que el peralte de las columnas están orientadas en esta dirección haciendo que la estructura en este sentido sea más rígida.

**Figura N° 7.6.** Derivas máximas – dirección “X”.



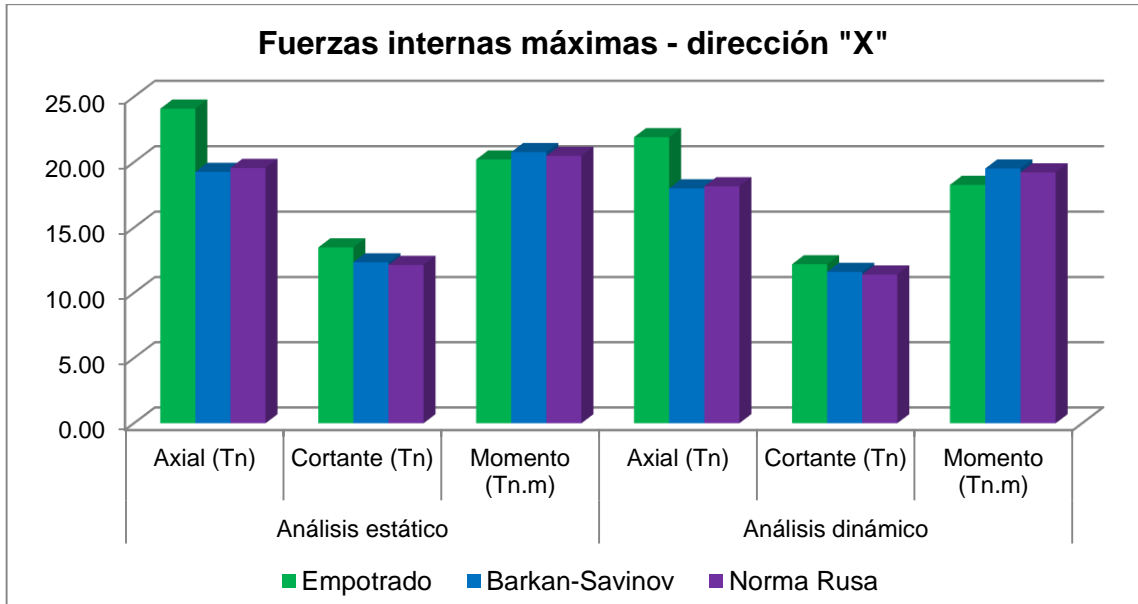
Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 7.2.3. Fuerzas internas en la estructura:

La flexibilidad en la base de fundación permite una mejor distribución de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio; las fuerzas axial, cortante y momento máximas se producen en las columnas del primer nivel de la estructura para una fuerza sísmica en la dirección “Y”. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.4.7, 6.5.7, 6.6.7** se obtuvo la figura N° 7.9 en la cual se puede observar que las fuerzas internas máximas disminuyen cuando se tiene la base flexible en comparación con el modelo de base empotrada; este efecto se produce debido a que hay mayor rigidez en la dirección “Y”; sin embargo en la figura N° 7.8 se observa que el momento flector aumenta siendo solamente la fuerza axial y la fuerza cortante las que disminuyen; este efecto se produce porque la dirección “X” es la más desfavorable; cumpliéndose tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico espectral, además se observa que los resultados del análisis dinámico son menores que los resultados del análisis estático.

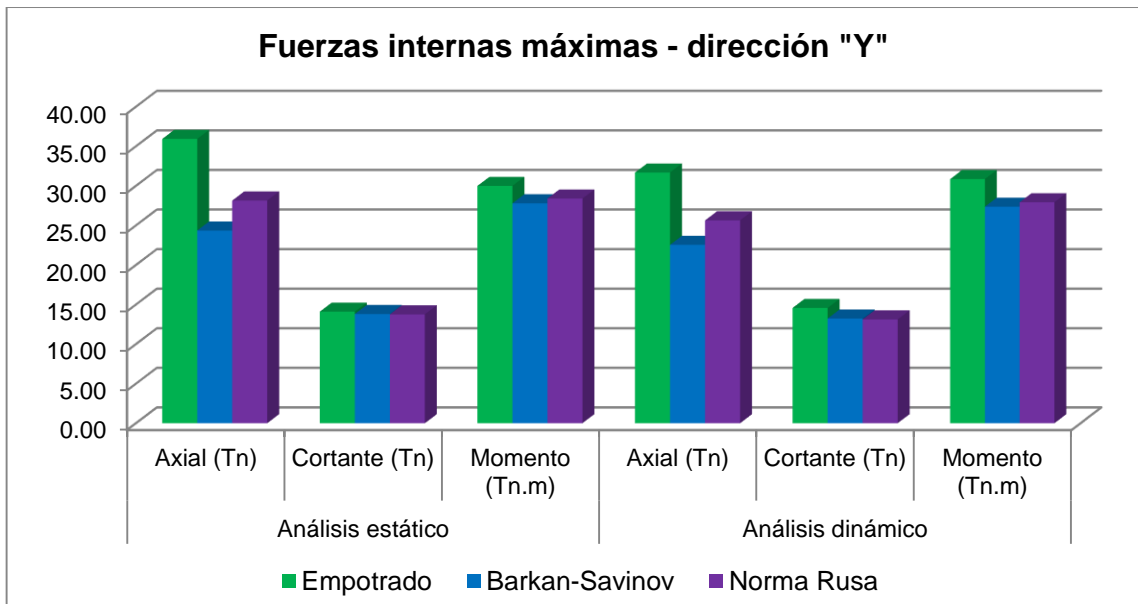


**Figura N° 7.8.** Fuerzas internas máximas – dirección “X”.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.9.** Fuerzas internas máximas – dirección “Y”.



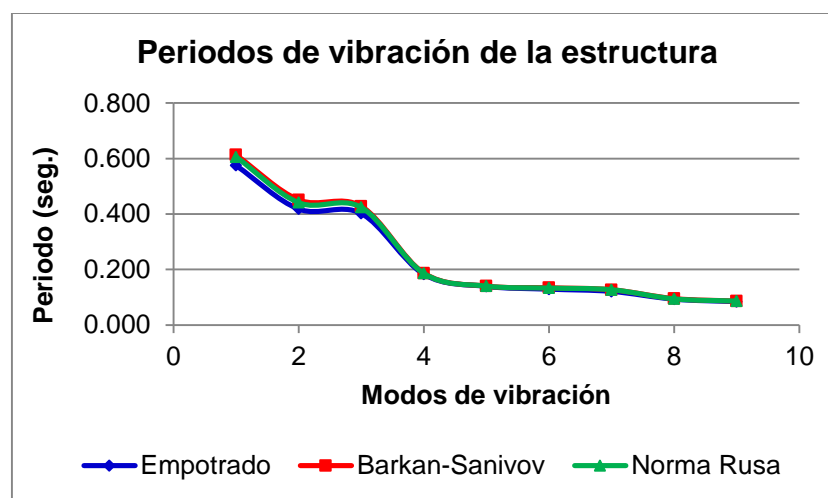
**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

### 7.3. Edificio SS. HH. módulo “C”

#### 7.3.1. Periodo fundamental de vibración de la estructura:

Al considerar la flexibilidad en la base de fundación incrementa los periodos de las formas de vibración de la estructura. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.7.1, 6.8.1, 6.9.1** se obtuvo la figura N° 7.10 en la cual se puede observar que para los dos modelos dinámicos se produce un incremento en los tres primeros modos de vibración, sin embargo el incremento más notorio se da para el modelo dinámico de Barkan – Savinov.

**Figura N° 7.10.** Periodos fundamentales de vibración del edificio SS. HH. Módulo “C”.



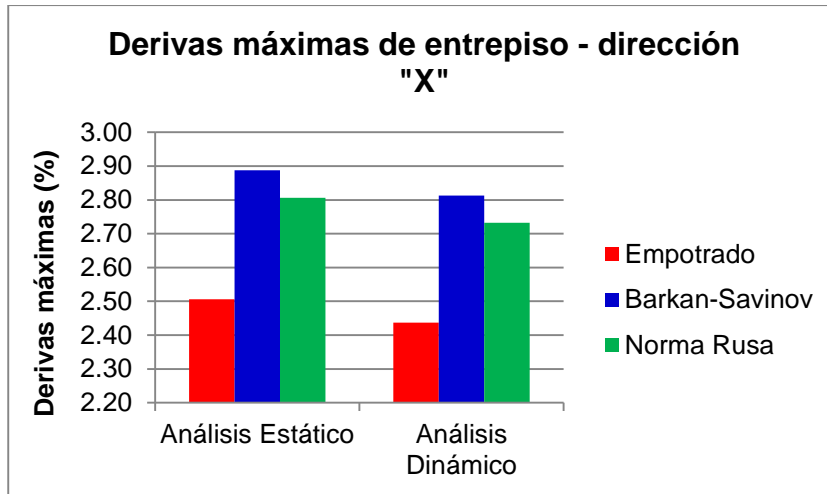
Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 7.3.2. Derivas de entrepiso de la estructura:

La flexibilidad en la base de fundación hace que las derivas de entrepiso se incrementen, las derivas máximas de la estructura se producen en el primer nivel para una fuerza sísmica en la dirección “X”. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.7.4, 6.8.4, 6.9.4** se obtuvo la figura N° 7.11 en la cual se puede observar que las derivas máximas al considerar la base flexible aumentan en comparación con el modelo de base empotrada siendo más notorio en el modelo dinámico de Barkan – Savinov; además se observa que las derivas máximas son mayores para el análisis estático en comparación con el análisis dinámico espectral.

En la dirección “Y” las derivas de entrepiso son menores teniendo una deriva máxima de 1.44% según la tabla N° 6.47 esto se produce debido a que el peralte de las columnas están orientadas en esta dirección haciendo que la estructura en este sentido sea más rígida.

**Figura N° 7.11.** Derivas máximas – dirección “X”.



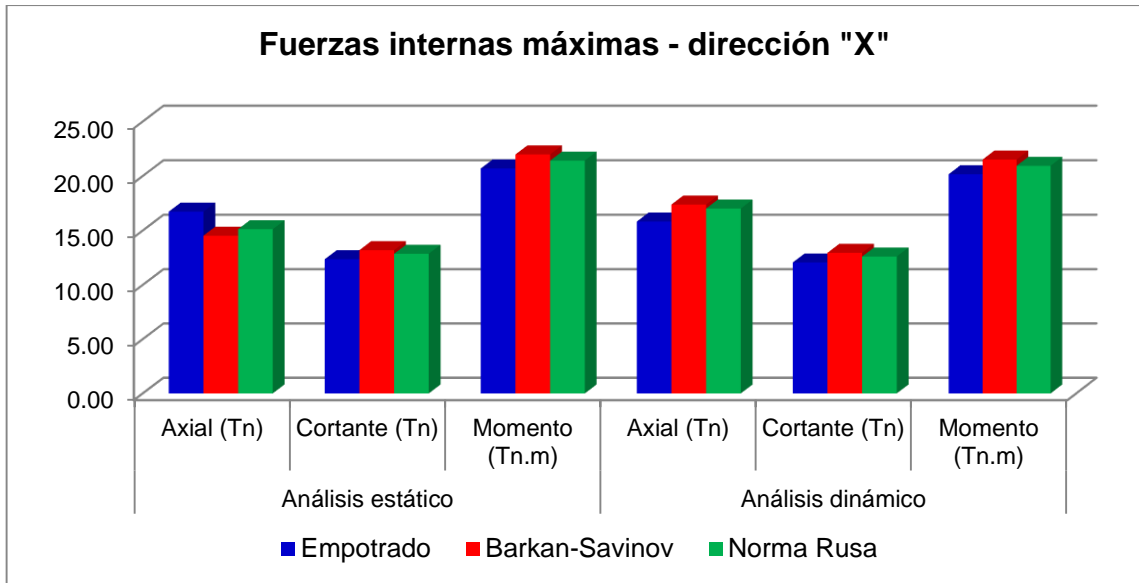
Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 7.3.3. Fuerzas internas en la estructura:

La flexibilidad en la base de fundación permite una mejor distribución de esfuerzos en los elementos estructurales del edificio; las fuerzas axial, cortante y momento máximas se producen en las columnas del primer nivel de la estructura para una fuerza sísmica en la dirección “Y”. Según los datos mostrados en las tablas de los **ítems 6.7.7, 6.8.7, 6.9.7** se obtuvo la figura N° 7.13 en la cual se puede observar que las fuerzas internas máximas que disminuyen solamente son los momentos cuando se tiene la base flexible en comparación con el modelo de base empotrada, la fuerza axial y fuerza cortante se elevan. En la figura N°7.12 (análisis en la dirección “X”) es la fuerza axial la que disminuye cuando se tiene la base flexible en comparación con el modelo de base empotrada, la fuerza cortante y el momento se elevan.

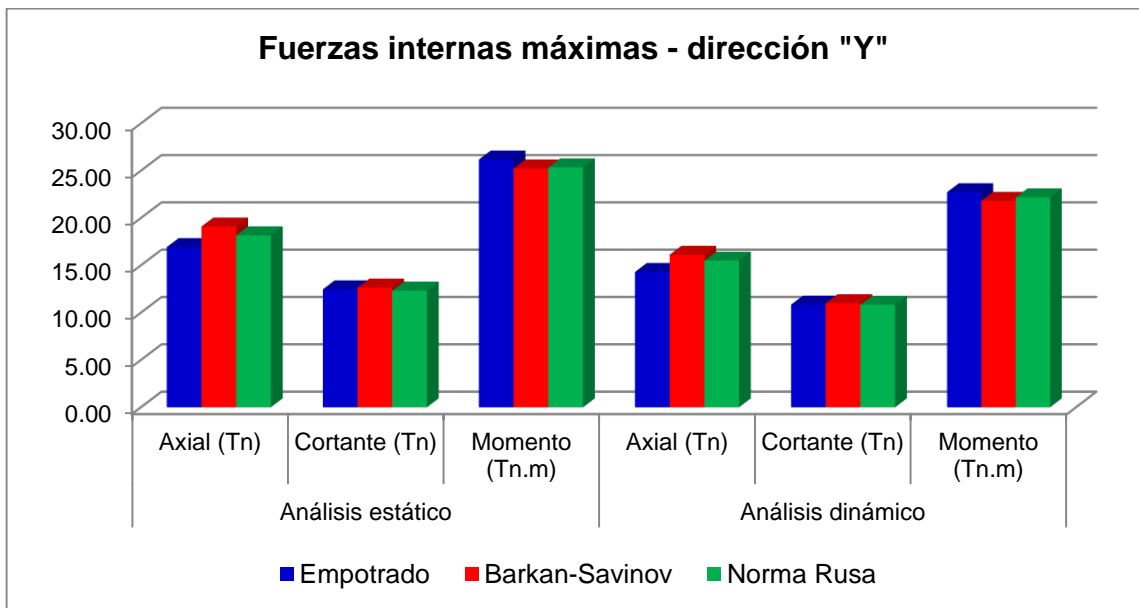
Los resultados obtenidos son similares tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico espectral.

**Figura N° 7.12.** Fuerzas internas máximas – dirección "X".



Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.13.** Fuerzas internas máximas – dirección "Y".



Fuente: Elaboración propia, 2015.

**INFORME DE LA TESIS: “COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS B Y C DE LA I. E. JULIO RAMÓN RIBEYRO CONSIDERANDO Y SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA” PARA LA I. E. JULIO RAMÓN RIBEYRO**

**I. INTRODUCCIÓN:**

La Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro ubicado en el Centro Poblado Menor La Paccha, cuenta con nivel secundario con más de 400 alumnos entre varones y mujeres para el presente año escolar y tiene una antigüedad de 10 años; su infraestructura consta de 3 módulos, los cuales fueron construidos en dos etapas, en la primera etapa se construyeron los módulos A y C; pero cabe resaltar que del módulo C (módulo de tres pisos) solo se construyó el primer nivel dejándose inconcluso los pisos restantes, en la segunda etapa del proyecto se contempló la construcción de los dos pisos faltantes del módulo C y el tercer módulo B, en esta segunda etapa se consideró en el expediente técnico los estudios respectivos de análisis de suelos y análisis sísmico para su diseño. Los módulos estudiados en la presente investigación son el “B” y el “C”.



**Módulo “B”**



**Módulo “C”**

**II. CRITERIOS PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS:**

- Sistema estructural** : Pórticos de concreto armado.
- Cimentación** : Zapatas conectadas.
- Normas Utilizadas** : NTP de diseño sismorresistente E 0.30 – 2006.  
NTP de suelos y cimentaciones E 0.50.

**Parámetros según NTP de diseño sismorresistente E 0.30 - 2006:**

<b>Z =</b>	0.40	Zona sísmica 3 (Ciudad de Cajamarca)	Art. 5
<b>U =</b>	1.50	Categoría A: edificación esencial (centro educativo)	Art. 10
<b>S =</b>	1.40	Suelo flexible	Art. 6
<b>Rx =</b>	8.00	Sistema estructural: pórticos de concreto armado	Art. 12

<b>Ry =</b>	8.00	Sistema estructural: pórticos de concreto armado	Art. 12
<b>Tp =</b>	0.90	Suelo flexible	Art. 6

**Parámetros según NTP de suelos y cimentaciones E 0.50:**

Número de calicatas : 2 (Art. 2.1 – Tabla N° 1)

Profundidad de calicatas : 3.00 m. (Art. 2.3 – Tabla N° 6)}

**III. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SÍSMICO CON EL PROGRAMA ETABS V.15.**

- **Módulo “B”:**

**Derivas máximas de entrepiso – Análisis Estático:**

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp X	<b>0.0215</b>	2.15
Piso 01	Desp Y	<b>0.0101</b>	1.01

**Derivas máximas de entrepiso – Análisis Dinámico:**

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 01	Desp din X Max	<b>0.0213</b>	2.13
Piso 01	Desp din Y Max	<b>0.0104</b>	1.04

- **Módulo “C”:**

**Derivas máximas de entrepiso – Análisis Estático:**

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp X	<b>0.0229</b>	2.29
Piso 02	Desp Y	<b>0.0160</b>	1.60
Piso 01	Desp X	<b>0.0243</b>	2.43
Piso 01	Desp Y	<b>0.0128</b>	1.28

**Derivas máximas de entrepiso – Análisis Dinámico:**

Piso	Caso de carga	Deriva	Deriva (%)
Piso 02	Desp din X Max	<b>0.0209</b>	2.09
Piso 02	Desp din Y Max	<b>0.0161</b>	1.61
Piso 01	Desp din X Max	<b>0.0226</b>	2.26
Piso 01	Desp din Y Max	<b>0.0131</b>	1.31

**IV. DERIVA MÁXIMA DE ENTREPISO SEGÚN LA NTP DE DISEÑO SISMORRESISTENTE E 0.30 – 2006.**

<b>LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO</b>	
<b>Estos límites no son aplicables a naves industriales</b>	
<b>Material Predominante</b>	<b><math>(\Delta_l/h_{e_l})</math></b>
<b>Concreto Armado</b>	<b>0.007</b>
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

#### **IV. Conclusiones:**

Los módulos “B” y “C” con base empotrada presentan derivas de entrepiso de hasta 3 veces más del valor máximo dado en la Norma Peruana de diseño sismo resistente E.030 – 2006 para edificaciones de concreto armado, lo cual indica que los edificios no tienen la rigidez lateral suficiente; por lo tanto son edificios flexibles.

#### **IV. Recomendaciones:**

Se recomienda evaluar el posible reforzamiento estructural de los módulos “B” y “C” de la I. E. Julio Ramón Ribeyro, ya que según el estudio realizado en la presente investigación dichas estructuras no cumplen con los requerimientos mínimos indicados en la Norma Técnica Peruana de diseño sismorresistente E.030.

Como posible reforzamiento estructural se podría mejorar la sección de las columnas rectangulares (geometría existente) a columnas con sección en “T” (en columnas centrales) y en “L” en columnas ubicadas en las esquinas.

## CONCLUSIONES

Luego de haber cumplido con los objetivos planteados en la presente investigación, del análisis de las 02 estructuras planteadas considerando la base empotrada y la base flexible mediante los modelos dinámicos, podemos decir que la hipótesis planteada se cumple parcialmente debido a que la respuesta estructural de los módulos "B" y "C" va a depender de su rigidez lateral.

A continuación se presentan las siguientes conclusiones:

- La interacción suelo – estructura permite una mejor respuesta estructural en el análisis de edificios debido a que las fuerzas interna máximas en los elementos estructurales disminuyen; sin embargo, esto sucede cuando la estructura es lo suficientemente rígida lateralmente, caso contrario el edificio no presentará una buena respuesta estructural.
- Los módulos "B" y "C" con base empotrada presentan derivas de entrepiso de hasta 3 veces más del valor máximo dado en la Norma Peruana de diseño sismo resistente E.030 – 2006 para edificaciones de concreto armado, lo cual indica que los edificios no tienen la rigidez lateral suficiente; por lo tanto son edificios flexibles.
- Las derivas de entrepiso de los módulos "B" y "C" con base flexible (para ambos modelos estudiados) aumentan en un promedio de 11.25% con respecto al de base empotrada.
- Los períodos de vibración de los módulos "B" y "C" con base flexible (para ambos modelos estudiados) aumenta en un promedio de 5.75% con respecto al de base empotrada.
- En el módulo "B" con base flexible las fuerzas internas máximas aumentan con respecto al de base empotrada; el momento flector aumenta en promedio 14%, la fuerza cortante aumenta en promedio 16.50% y la fuerza axial aumenta en promedio 19%.
- En el módulo "C" con base flexible las fuerzas internas máximas disminuyen con respecto al de base empotrada; el momento flector disminuye en promedio 7%, la fuerza cortante disminuye en promedio 38% y la fuerza axial disminuye en promedio 2%.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el posible reforzamiento estructural de los módulos “B” y “C” de la I. E. Julio Ramón Ribeyro, ya que según el estudio realizado en la presente investigación dichas estructuras no cumplen con los requerimientos mínimos indicados en la Norma Técnica Peruana de diseño sismorresistente E.030.
- El efecto de interacción suelo – estructura en el análisis de edificaciones debe ser implementado en la normativa peruana, ya que considerando este efecto se tiene una mejor respuesta estructural de las edificaciones.
- Para futuras investigaciones sobre interacción suelo – estructura, se debe realizar un análisis más profundo considerando los diferentes tipos de suelos, tipos de cimentación y sistemas estructurales. Así como también elaborar un análisis de costos al aplicar el efecto de interacción suelo – estructura en edificaciones.
- Para el análisis y diseño de edificaciones del tipo esenciales (categoría A según NTP E.030), se recomienda realizar estudios más rigurosos referentes a mecánica de suelos y análisis sísmico; ya que este tipo de edificaciones no deben colapsar ante eventos sísmicos.

## REFERENCIAS

1. VILLARREAL CASTRO, G. (2009). Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones con zapatas aisladas (pp. 24 – 36). Lima.
2. VILLARREAL CASTRO, G. (2009). Interacción suelo – estructura en edificios altos (pp. 53 – 55). Lima.
3. CRESPO VILLALAZ, C. (2008). Mecánica de suelos y cimentaciones (pp. 18 - 29). México: Limusa.
4. JIMENEZ SALAS, J. A. & DE JUSTO ALPAÑÁEZ, J. L. (1975). Geotecnia y cimientos I (pp. 71). Madrid: Rueda.
5. SAN BARTOLOMÉ RAMOS, A. & QUIUN WONG D. & SILVA BERRÍOS W. (2001). Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería (pp. 193). Lima: PUCP.
6. MELI PIRALLA, R. (2010). Diseño estructural (pp. 56). México: Limusa.
7. GONZÁLES CUEVAS, O. (2008). Análisis estructural (pp. 23). México: Limusa.
8. JUÁREZ BADILLO, E. & RICO RODRÍGUEZ, A. (2012). Mecánica de suelos tomo I (pp. 53). México: Limusa.
9. HOYOS SAUCEDO, M. (2012). Mecánica de suelos I (pp. 37). Perú – Cajamarca: s.f.
10. B. PECK, R. & E. HANSON, W. & H. THORNBURN, T. (2009). Ingeniería de cimentaciones (pp. 303, 304). México: Limusa.
11. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.060. (2006). Concreto armado. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
12. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.050. (2006). Suelos y cimentaciones. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
13. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.030. (2006). Diseño sismorresistente. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
14. NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.020. (2006). Cargas. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

15. ZVALETA CHUMBIAUCA, L. A. (2009). Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar en la ciudad de Trujillo. (Tesis para título). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
16. MENDOZA CUELLAR, J. E. & RODAS HUERTA, H. I. (2015). Análisis de interacción suelo-estructura de centros educativos con zapatas corridas en la urbanización Nicolas Garatea. (Tesis para título). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú.
17. CERNA VÁSQUEZ, M. & ESPINOZA TORRES, C. (2008). Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación. (Tesis para título). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
18. SILVA GUTIÉRREZ, D. & IPANAQUÉ SÁNCHEZ, G. A. (2009). Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones aporticadas. (Tesis para título). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
19. GALICIA GUARNÍZ, W. C. & LEÓN VASQUEZ, J. R. (2007). Interacción sísmica suelo – estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación. (Tesis para título). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
20. INDECI. (Diciembre de 2003). PLAN DE PREVENCIÓN ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN CIUDAD DE SAN JOSÉ. Recuperado el 13 de abril de 2015, de [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_lambayeque/lambayeque/san jose.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lambayeque/lambayeque/san jose.pdf).
21. INDECI. (15 de Agosto de 2007). IMPACTO SOCIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007. Recuperado el 17 de abril de 2015, de <http://www.indeci.gob.pe/isea/publicacion/capitulo%202%20Estimacion%20de%20los%20da%C3%B1os%20en%20las%20fases%20del%20post%20desastre.pdf>
22. Ministerio de Ambienten Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA SISMORRESISTENTE. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de <http://www.actiweb.es/jorgeluisguresso/archivo1.pdf>

## **ANEXO N°01: PLANOS**



**(PLANOS EXTRAÍDOS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO DE LA I.E JULIO RAMÓN  
RIBEYRO ENTREGADOS POR EL DIRECTOR A CARGO)**

## **ANEXO N°02: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

## RESULTADOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS


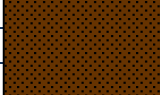
### - Perfil estratigráfico:

Tabla N° 6.127. Perfil estratigráfico - calicata N° 01.

ESTRATO	PROF. (m)	NIVEL	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
		FREÁTICO		
	0.00			Arcillas orgánicas, de color marrón oscuro, no se extrajo muestra.
	-0.70			ML.- Limo inorgánico y arena muy fina, con ligera plasticidad. Con gravas aisladas de 1 1/2" de diámetro en la parte inferior presenta bolonería.
E - 1	-3.00	N.P.		

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 6.128. Perfil estratigráfico - calicata N° 02.

ESTRATO	PROF. (m)	NIVEL	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
		FREÁTICO		
	0.00			Arcillas orgánicas, de color marrón oscuro, no se extrajo muestra.
	-1.70			SC.- Arenas arcillosas, mezcla de arenas y arcillas, con gravas aisladas de 2" de diámetro, en la parte inferior presenta bolonería.
E - 1	-3.00	N.P.		

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### - Análisis granulométrico: (ASTM D 422/C136 / AASHTO T 88 – 70)

Tabla N° 6.129. Análisis granulométrico - calicata N° 01.

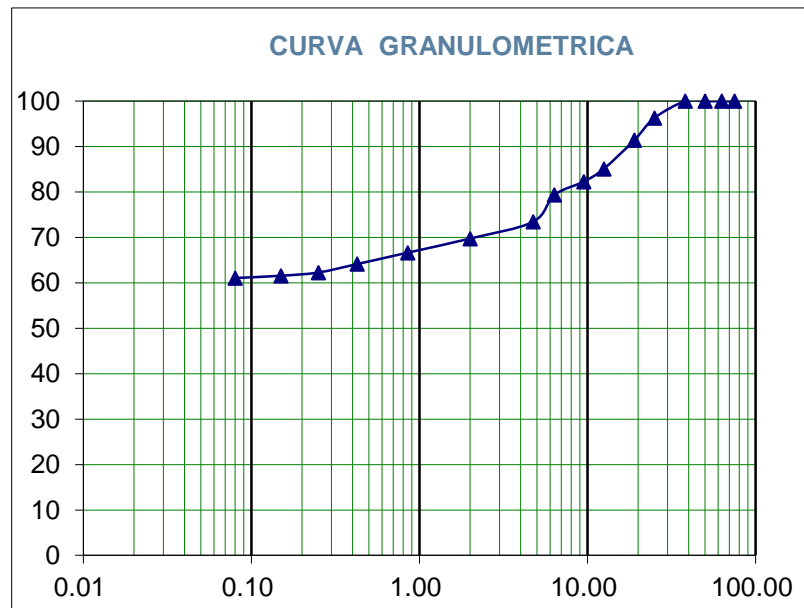
MUESTRA : 4500.00

TAMIZ		PRP	%RP	%RA	% QUE
N°	ABER.(mm)	(gr)			PASA
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	167.00	3.71	3.71	96.29
3/4"	19.00	219.50	4.88	8.59	91.41
1/2"	12.50	284.30	6.32	14.91	85.09
3/8"	9.50	126.70	2.82	17.72	82.28
1/4"	6.35	132.00	2.93	20.66	79.34
N°4	4.75	265.30	5.90	26.55	73.45
N 10	2.00	166.40	3.70	30.25	69.75

N 20	0.85	139.70	3.10	33.35	66.65
N 40	0.43	113.40	2.52	35.87	64.13
N 60	0.25	83.20	1.85	37.72	62.28
N 100	0.15	32.10	0.71	38.44	61.56
N 200	0.08	22.00	0.49	38.92	61.08
CAZOLETA	-.-	2748.40	61.08	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>4500.00</b>			

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura N° 7.14. Curva Granulométrica - calicata N° 01.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 6.130. Análisis granulométrico - calicata N° 02.

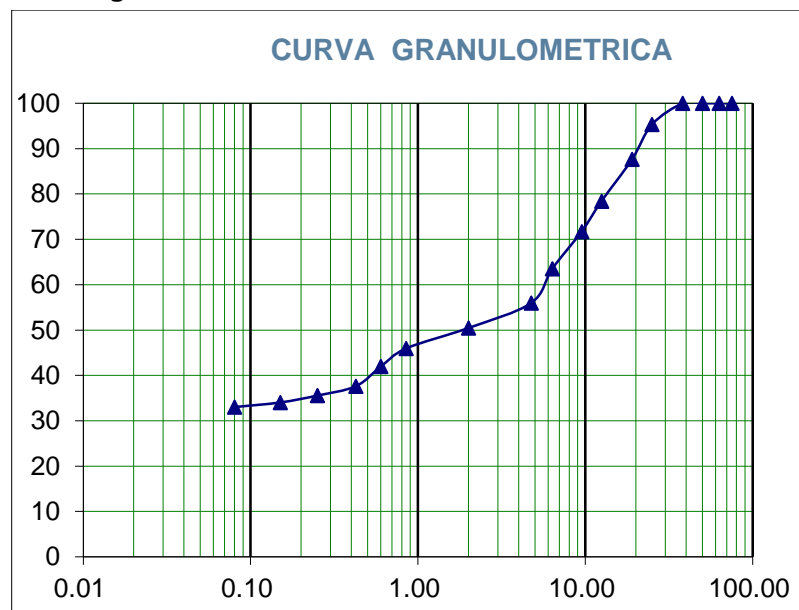
MUESTRA :3500.00

TAMIZ		PRP	%RP	%RA	% QUE
N°	ABER.(mm)	(gr)			PASA
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	163.70	4.68	4.68	95.32
3/4"	19.00	269.40	7.70	12.37	87.63
1/2"	12.50	321.60	9.19	21.56	78.44
3/8"	9.50	234.50	6.70	28.26	71.74
1/4"	6.35	287.00	8.20	36.46	63.54
N°4	4.75	264.20	7.55	44.01	55.99
N 10	2.00	193.80	5.54	49.55	50.45
N 20	0.85	157.30	4.49	54.04	45.96

N 30	0.60	139.60	3.99	58.03	41.97
N 40	0.43	152.30	4.35	62.38	37.62
N 60	0.25	72.10	2.06	64.44	35.56
N 100	0.15	53.30	1.52	65.97	34.03
N 200	0.08	35.40	1.01	66.98	33.02
CAZOLETA	-.	1155.80	33.02	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>3500.00</b>			

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura N° 7.15. Curva Granulométrica - calicata N° 02.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Contenido de Humedad:** (ASTM D 2216/D 4643)

Tabla N° 6.131. Contenido de humedad - calicata N° 01.

MUESTRA	C 1 - E 1		
W t (gr)	25.10	23.90	24.00
Wmh + t (gr)	232.20	214.50	223.20
Wms + t (gr)	209.20	193.80	201.60
Wms	184.10	169.90	177.60
Ww	23.00	20.70	21.60
W(%)	12.49	12.18	12.16
<b>W % Prom.</b>	<b>12.28</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2015.



**Tabla N° 6.132.** Contenido de humedad - calicata N° 02.

MUESTRA	C 2 - E 1		
W t (gr)	25.80	25.30	26.70
Wmh + t (gr)	165.30	180.80	173.50
Wms + t (gr)	148.10	161.20	154.90
Wms	122.30	135.90	128.20
Ww	17.20	19.60	18.60
W(%)	14.06	14.42	14.51
<b>W % Prom.</b>	<b>14.33</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Límites de consistencia:** (ASTM D 4318 - 93 / AASHTO T 89-68 / T 90-70)

**Tabla N° 6.133.** Límites de consistencia - calicata N° 01.

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	24.60	25.60	25.20	22.30	21.40
Wmh + t (gr)	32.60	35.20	34.10	25.60	24.80
Wms + t (gr)	31.00	33.40	32.50	25.10	24.30
Wms (gr)	6.40	7.80	7.30	2.80	2.90
W w (gr)	1.60	1.80	1.60	0.50	0.50
W(%)	25.00	23.08	21.92	17.86	17.24
N.GOLPES	13	24	36		
<b>L.L - LP</b>		<b>23.10</b>		<b>17.55</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.16.** Límites de consistencia - calicata N° 01.



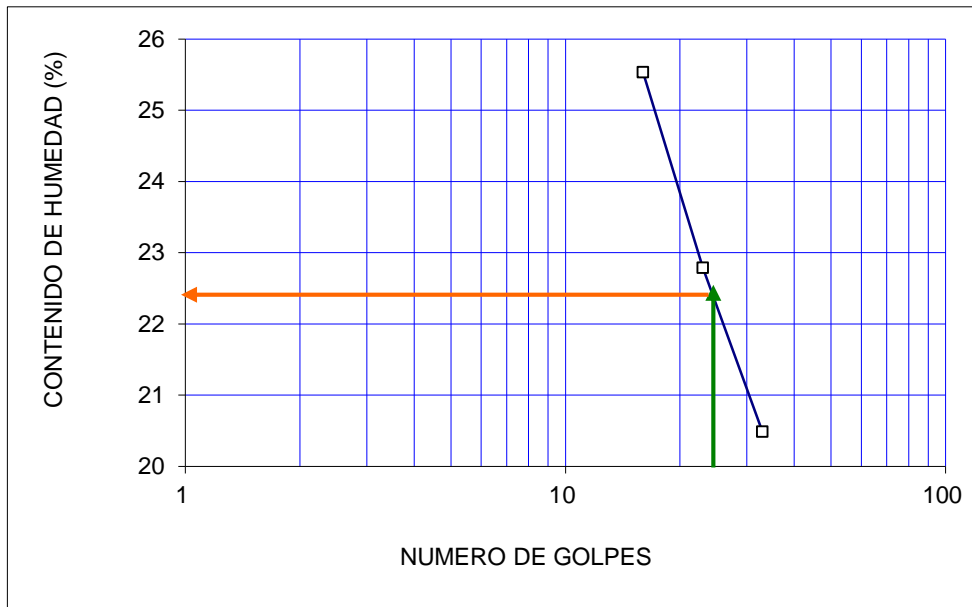
Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.134.** Límites de consistencia - calicata N° 02.

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	25.40	26.60	26.80	24.00	22.80
Wmh + t (gr)	37.20	36.30	36.80	25.70	26.00
Wms + t (gr)	34.80	34.50	35.10	25.50	25.60
Wms (gr)	9.40	7.90	8.30	1.50	2.80
W w (gr)	2.40	1.80	1.70	0.20	0.40
W(%)	25.53	22.78	20.48	13.33	14.29
N.GOLPES	16	23	33		
L.L - LP		<b>22.30</b>		<b>13.81</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.17.** Límites de consistencia - calicata N° 02.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Peso específico:** (ASTM D 854-58/C 127 / AASHTO T 100-70)

**Tabla N° 6.135.** Peso específico - calicata N° 01.

Muestra	C 1 - E 1	
Pms (g)	100.80	102.20
Pf (g)	163.70	163.70
Pfw (g)	661.50	661.50
Pfws (g)	723.70	724.50
P.e (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	2.61
<b>P.e prom.</b>	<b>2.61</b>	
<b>% Ret. N° 4</b>	<b>26.55</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.136.** Peso específico - calicata N° 02.

Muestra	C 2 - E 1	
Pms (g)	100.00	100.00
Pf (g)	163.70	163.70
Pfw (g)	661.40	661.40
Pfws (g)	723.10	722.90
P.e (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	2.60
<b>P.e prom.</b>	<b>2.60</b>	
<b>% Ret. N° 4</b>	<b>44.01</b>	

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.137.** Resúmenes de resultados de parámetros físicos y mecánicos deducidos para cimentación.

CALICATA	ESTRATO	Profundidad ad  Metros	Granulometría					AASH TO	SU CS	PROPIEDADES FÍSICAS										PARAMETROS FÍSICOS			
			N°4	N° 10	N° 40	N° 200	LÍMITES DE CONSISTENCIA A			C c	G	e	W %	ST %	DENSIDAD NATURAL								
							L.L.								L.P.	I.P.	H T	ST	<N. 4				
							A								S					O	R	G	A
1		De -0,00 a -0,70	A	R	C	I	L	L	A	S			O	R	G	A	N	I	C	A	S		
	1	De -0.70 a -3.00	73. 45	69. 75	64. 13	61.0 8	A -4 (5)	ML	23. 10	17. 55	5. 55	0. 09	2. 60	0. 58	12. 28	55. 24	1. 85	1. 65	1.65	-0.95	1.95	22.00	0.17
2		De -0,00 a -1,70	A	R	C	I	L	L	A	S			O	R	G	A	N	I	C	A	S		
	1	De -1.70 a -3.00	55. 09	50. 45	37. 62	33.0 2	A-2-4 (0)	SC	22. 30	13. 81	8.4 9	0.0 8	2.6 1	0. 73	14. 33	50. 89	1. 72	1. 50	1.50	0.06	0.94		

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**NOMENCLATURA:**

- C c = Índice de Compresión
- G = Peso específico
- ST% = Grado de Saturación
- HT = Densidad húmeda total
- ST = Densidad seca total
- I L = Índice de Liquidez
- C = Cohesión
- e = Proporción de vacíos
- C r = Consistencia relativa
- Ø = Angulo de fricción interna
- W = Contenido natural de humedad
- <N.4 = Densidad seca menor N.4

- **Capacidad portante y asentamiento:**

Tabla N° 6.138. Datos para el cálculo de capacidad portante y asentamiento.

DATOS GENERALES		
Angulo de Fricción	22	°
Ancho de Zapata	150	cm.
Profundidad de Cimentación	150	cm.
Cohesión	0.17	ton/m <sup>2</sup>
Ancho de Zapata	1.50	m.
Densidad aparente del Suelo por debajo del N.C.	1.85	ton/m <sup>3</sup>
Densidad aparente del Suelo por debajo del N.C.	0.00185	Kg/cm <sup>3</sup>
Relación Ancho Largo (B/L)	<b>0.175</b>	
Factor de Seguridad	3	
Carga Total	30.00	ton.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 6.139. Datos para el cálculo de capacidad portante y asentamiento.

Poisson (u)	0.30
Módulo de Elast.(ton/m <sup>2</sup> )	2000
Si max para estructuras	1.5pulg.
	3,75 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 6.140. Factores de cargas y forma.

FORMA	FACTORES DE CARGA			FACTORES DE FORMA		
	N'c	N'g	N'q	Sc	Sg	Sq
Continua	11.00	4.20	2.40	<b>1.04</b>	<b>0.93</b>	<b>1.07</b>
Cuadrada				<b>1.22</b>	<b>0.6</b>	<b>1.40</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

• **Capacidad portante:**

Tabla N° 6.141. Cuadro de capacidad portante.

$q_0$	2.50 kg/cm <sup>2</sup>
$q_{adm}$	<b>0.83 kg/cm<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

• **Asentamientos inmediatos:**

**Tabla N° 6.142.** Cuadro de asentamientos inmediatos.

$S_{i_{centro}}$	4.30 cm
$S_{i_{medio}}$	3.75 cm
$S_{i_{esquina}}$	2.15 cm

**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

- **Coefficiente de balasto:**

Para una capacidad de 0.83 kg/cm<sup>2</sup> (ver tabla N° 6.141) y para un factor de zona Z asignado para Cajamarca de 0.4 (ver tabla N° 2.6).

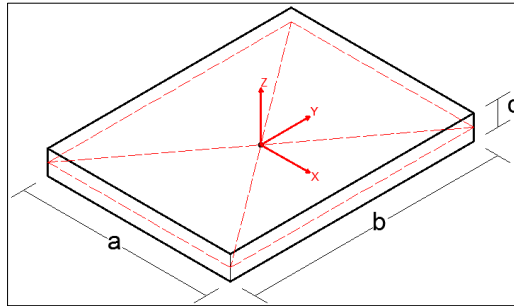
Coefficiente de balasto = **1.91 kg/cm<sup>2</sup>**

## **ANEXO N°03: MODELOS DINÁMICOS**

## MODELOS DINÁMICOS D. D. BARKAN - O. A. SAVINOV Y NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

### 1. CÁLCULO DE MASAS:

Figura N° 7.18. Dimensiones de zapata para el cálculo de rigideces.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 1.1. Masas traslacionales:

$$M_t = M_X = M_Y = M_Z = \frac{P_{zapata}}{g} = \frac{\gamma \cdot a \cdot b \cdot c}{g}; (Tn. s^2/m) \quad (4.6)$$

#### 1.2. Masas rotacionales:

$$M_{\phi X} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (b^2 + c^2)}{12}; (Tn. s^2. m) \quad (4.7)$$

$$M_{\phi Y} = M_t \left( \frac{c}{2} \right)^2 + \frac{M_t (a^2 + c^2)}{12}; (Tn. s^2. m) \quad (4.8)$$

$$M_{\psi Z} = \frac{M_t (a^2 + b^2)}{12}; (Tn. s^2. m) \quad (4.9)$$

### 2. MODELO DINÁMICO D. D. BARKAN - O. A. SAVINOV:

#### 2.1. Cálculo de la presión estática ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{P_{tributario} + P_{zapata}}{A_{zapata}}; (Kg/cm^2) \quad (4.10)$$

#### 2.2. Coeficiente de balasto ( $Co$ ):

$$Co = 1.19 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2.3. Cálculo del coeficiente $Do$ :

$$D_o = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5 * \mu} * C_o ; (\text{Kg/cm}^3) \quad (4.11)$$

$\mu$ : Coeficiente de Poisson del suelo

2.4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):

$$C_X = C_Y = D_o \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} ; (\text{Kg/cm}^3) \quad (4.12)$$

$$C_Z = C_o \left[ 1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} ; (\text{Kg/cm}^3) \quad (4.13)$$

$$C_{\varphi X} = C_o \left[ 1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta * A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} ; (\text{Kg/cm}^3) \quad (4.14)$$

$$C_{\varphi Y} = C_o \left[ 1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta * A} \right] \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} ; (\text{Kg/cm}^3) \quad (4.15)$$

$\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$  : Coeficiente empírico de corrección de unidad.

**A** : Área de la zapata.

**a, b y c** : Dimensiones de la zapata.

2.5. Cálculo de rigideces (K):

$$K_X = C_X A ; (\text{Tn/m}) \quad (4.16)$$

$$K_Y = C_Y A ; (\text{Tn/m}) \quad (4.17)$$

$$K_Z = C_Z A ; (\text{Tn/m}) \quad (4.18)$$

$$K_{\varphi X} = C_{\varphi X} * I_X ; (\text{Tn. m}) \quad (4.19)$$

$$K_{\varphi Y} = C_{\varphi Y} * I_Y ; (\text{Tn. m}) \quad (4.20)$$

**K<sub>x</sub>, K<sub>y</sub>** : Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme.

**K<sub>z</sub>** : Coeficiente de rigidez de compresión elástico uniforme.

**K<sub>φx</sub>, K<sub>φy</sub>**: Coeficiente de rigidez de compresión elástico no uniforme.

**En este modelo dinámico se restringe la rotación en el eje Z.**



### 3. MODELO DINÁMICO DE LA NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87:

3.1. Cálculo del coeficiente de compresión elástico ( $C_z$ ):

$$C_z = b_o E \left[ 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right]; (Kg/cm^3) \quad (4.21)$$

$A_{10}$  : 10 m<sup>2</sup>.

$A$  : Área de la cimentación.

$E$  : Módulo de elasticidad del suelo.

$b_o$  : Valor de tabla.

3.2. Cálculo de coeficientes de rigidez ( $C$ ):

$$C_x = 0.70 * C_z; (Kg/cm^3) \quad (4.22)$$

$$C_y = 0.70 * C_z; (Kg/cm^3) \quad (4.23)$$

$$C_{\phi X} = 2 * C_z; (Kg/cm^3) \quad (4.24)$$

$$C_{\phi Y} = 2 * C_z; (Kg/cm^3) \quad (4.25)$$

$$C_{\psi Z} = C_z; (Kg/cm^3) \quad (4.26)$$

3.3. Cálculo de rigideces ( $K$ ):

$$K_x = C_x A; (Tn/m) \quad (4.27)$$

$$K_y = C_y A; (Tn/m) \quad (4.28)$$

$$K_z = C_z A; (Tn/m) \quad (4.29)$$

$$K_{\phi X} = C_{\phi X} I_x; (Tn.m) \quad (4.30)$$

$$K_{\phi Y} = C_{\phi Y} I_y; (Tn.m) \quad (4.31)$$

$$K_{\psi Z} = C_{\psi Z} I_z; (Tn.m) \quad (4.32)$$

$$I_z = I_x + I_y \quad (4.33)$$

### MÓDULO "B": MODELO DINÁMICO D. D. BARKAN - O. A. SAVINOV

#### 1. Cálculo de masas traslacionales:

Tabla N° 6.143. Cálculo de masas traslacionales del módulo "B".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-2	2.30	2.40	0.40	5.30	0.54	0.54	0.54
Z-3	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-4	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-5	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-6	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43
Z-7	2.50	2.70	0.40	6.48	0.66	0.66	0.66
Z-8	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-9	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-10	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 2. Cálculo de masas rotacionales:

Tabla N° 6.144. Cálculo de masas rotacionales del módulo "B".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	MΨz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	0.35	0.14	0.11	0.21
Z-2	2.30	2.40	0.40	0.54	0.29	0.27	0.50
Z-3	2.10	2.30	0.40	0.47	0.23	0.20	0.38
Z-4	2.10	2.30	0.40	0.47	0.23	0.20	0.38
Z-5	1.80	2.00	0.40	0.35	0.14	0.11	0.21
Z-6	2.00	2.20	0.40	0.43	0.20	0.17	0.32
Z-7	2.50	2.70	0.40	0.66	0.44	0.38	0.75
Z-8	2.40	2.60	0.40	0.61	0.38	0.33	0.64
Z-9	2.40	2.60	0.40	0.61	0.38	0.33	0.64
Z-10	2.00	2.20	0.40	0.43	0.20	0.17	0.32

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 3. Cálculo de la presión estática:

Tabla N° 6.145. Cálculo de pesos tributarios del módulo "B".

Peso tributario Z-1 =	18957.5	Kg	Peso Z-1 =	3456.00	Kg
Peso tributario Z-2 =	27567.24	Kg	Peso Z-2 =	5299.20	Kg
Peso tributario Z-3 =	29073.81	Kg	Peso Z-3 =	4636.80	Kg
Peso tributario Z-4 =	27720.04	Kg	Peso Z-4 =	4636.80	Kg
Peso tributario Z-5 =	18125.87	Kg	Peso Z-5 =	3456.00	Kg
Peso tributario Z-6 =	25588.34	Kg	Peso Z-6 =	4224.00	Kg
Peso tributario Z-7 =	38446.03	Kg	Peso Z-7 =	6480.00	Kg
Peso tributario Z-8 =	39486.16	Kg	Peso Z-8 =	5990.40	Kg
Peso tributario Z-9 =	38652.92	Kg	Peso Z-9 =	5990.40	Kg
Peso tributario Z-10 =	24113.79	Kg	Peso Z-10 =	4224.00	Kg

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.146.** Cálculo de áreas de zapatas del módulo "B".

Zapata	Largo (m)	Ancho (m)	Peralte (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )
Z-1	1.80	2.00	0.40	1.44	36000.00
Z-2	2.30	2.40	0.40	2.21	55200.00
Z-3	2.10	2.30	0.40	1.93	48300.00
Z-4	2.10	2.30	0.40	1.93	48300.00
Z-5	1.80	2.00	0.40	1.44	36000.00
Z-6	2.00	2.20	0.40	1.76	44000.00
Z-7	2.50	2.70	0.40	2.70	67500.00
Z-8	2.40	2.60	0.40	2.50	62400.00
Z-9	2.40	2.60	0.40	2.50	62400.00
Z-10	2.00	2.20	0.40	1.76	44000.00

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.147.** Cálculo de presión estática del módulo "B".

Zapata	Presión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	0.62
Z-2	0.60
Z-3	0.70
Z-4	0.67
Z-5	0.60
Z-6	0.68
Z-7	0.67
Z-8	0.73
Z-9	0.72
Z-10	0.64

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4. Coeficiente de balasto (Co):

$$Co = 1.19 \text{ kg/cm}^2$$

5. Cálculo del coeficiente Do:

$$\mu = 0.3$$

$$Do = 0.98$$

6. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):

**Tabla N° 6.148.** Propiedades de las zapatas del módulo "B".

ZAPATA	a (m)	b(m)	$\Delta$ (m <sup>-1</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$\rho$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho_0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	1.80	2.00	1.00	3.60	0.62	0.20
Z-2	2.30	2.40	1.00	5.52	0.60	0.20
Z-3	2.10	2.30	1.00	4.83	0.70	0.20
Z-4	2.10	2.30	1.00	4.83	0.67	0.20
Z-5	1.80	2.00	1.00	3.60	0.60	0.20
Z-6	2.00	2.20	1.00	4.40	0.68	0.20

Z-7	2.50	2.70	1.00	6.75	0.67	0.20
Z-8	2.40	2.60	1.00	6.24	0.73	0.20
Z-9	2.40	2.60	1.00	6.24	0.72	0.20
Z-10	2.00	2.20	1.00	4.40	0.64	0.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.149.** Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "B".

ZAPATA	Do (Kg/cm <sup>3</sup> )	Co (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	0.98	1.19	5.38	5.38	6.53	11.20	10.73
Z-2	0.98	1.19	4.57	4.57	5.55	9.12	8.97
Z-3	0.98	1.19	5.17	5.17	6.27	10.51	10.14
Z-4	0.98	1.19	5.06	5.06	6.15	10.29	9.93
Z-5	0.98	1.19	5.28	5.28	6.41	10.99	10.53
Z-6	0.98	1.19	5.25	5.25	6.37	10.75	10.35
Z-7	0.98	1.19	4.54	4.54	5.52	8.99	8.73
Z-8	0.98	1.19	4.87	4.87	5.91	9.70	9.41
Z-9	0.98	1.19	4.82	4.82	5.86	9.61	9.32
Z-10	0.98	1.19	5.12	5.12	6.21	10.48	10.09

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 7. Cálculo de rigideces (K):

**Tabla N° 6.150.** Cálculo de rigideces del módulo "B".

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)
Z-1	19365.68	19365.68	23515.47	13437.41	10430.79
Z-2	25228.22	25228.22	30634.27	24165.76	21831.85
Z-3	24952.65	24952.65	30299.65	22372.89	17997.56
Z-4	24446.48	24446.48	29685.02	21919.05	17632.48
Z-5	19003.01	19003.01	23075.08	13185.76	10235.45
Z-6	23088.34	23088.34	28035.84	19081.90	15186.08
Z-7	30660.01	30660.01	37230.02	36860.16	30697.13
Z-8	30380.76	30380.76	36890.92	34090.48	28175.21
Z-9	30101.15	30101.15	36551.39	33776.73	27915.90
Z-10	22510.11	22510.11	27333.71	18604.01	14805.76

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### MÓDULO "B": MODELO DINÁMICO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

#### 1. Cálculo de masas traslacionales:

Tabla N° 6.151. Cálculo de masas traslacionales del módulo "B".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-2	2.30	2.40	0.40	5.30	0.54	0.54	0.54
Z-3	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-4	2.10	2.30	0.40	4.64	0.47	0.47	0.47
Z-5	1.80	2.00	0.40	3.46	0.35	0.35	0.35
Z-6	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43
Z-7	2.50	2.70	0.40	6.48	0.66	0.66	0.66
Z-8	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-9	2.40	2.60	0.40	5.99	0.61	0.61	0.61
Z-10	2.00	2.20	0.40	4.22	0.43	0.43	0.43

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 2. Cálculo de masas rotacionales:

Tabla N° 6.152. Cálculo de masas rotacionales del módulo "B".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.80	2.00	0.40	0.35	0.14	0.11	0.21
Z-2	2.30	2.40	0.40	0.54	0.29	0.27	0.50
Z-3	2.10	2.30	0.40	0.47	0.23	0.20	0.38
Z-4	2.10	2.30	0.40	0.47	0.23	0.20	0.38
Z-5	1.80	2.00	0.40	0.35	0.14	0.11	0.21
Z-6	2.00	2.20	0.40	0.43	0.20	0.17	0.32
Z-7	2.50	2.70	0.40	0.66	0.44	0.38	0.75
Z-8	2.40	2.60	0.40	0.61	0.38	0.33	0.64
Z-9	2.40	2.60	0.40	0.61	0.38	0.33	0.64
Z-10	2.00	2.20	0.40	0.43	0.20	0.17	0.32

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 3. Cálculo del coeficiente de compresión elástico (Cz):

Tabla N° 6.153. Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "B".

Zapata	a (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )	A10 (m <sup>2</sup> )	bo (m <sup>-1</sup> )	E (Tn/m <sup>2</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	1.80	2.00	3.60	10.00	1.20	2000.00	6400.00
Z-2	2.30	2.40	5.52	10.00	1.20	2000.00	5630.29
Z-3	2.10	2.30	4.83	10.00	1.20	2000.00	5853.33
Z-4	2.10	2.30	4.83	10.00	1.20	2000.00	5853.33
Z-5	1.80	2.00	3.60	10.00	1.20	2000.00	6400.00
Z-6	2.00	2.20	4.40	10.00	1.20	2000.00	6018.14
Z-7	2.50	2.70	6.75	10.00	1.20	2000.00	5321.19
Z-8	2.40	2.60	6.24	10.00	1.20	2000.00	5438.22
Z-9	2.40	2.60	6.24	10.00	1.20	2000.00	5438.22
Z-10	2.00	2.20	4.40	10.00	1.20	2000.00	6018.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):

Tabla N° 6.154. Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "B".

ZAPATA	Cx (Kg/cm³)	Cy (Kg/cm³)	Cz (Kg/cm³)	C <sub>φx</sub> (Kg/cm³)	C <sub>φy</sub> (Kg/cm³)	C <sub>ψz</sub> (Kg/cm³)
Z-1	4480.00	4480.00	6400.00	12800.00	12800.00	6400.00
Z-2	3941.20	3941.20	5630.29	11260.58	11260.58	5630.29
Z-3	4097.33	4097.33	5853.33	11706.65	11706.65	5853.33
Z-4	4097.33	4097.33	5853.33	11706.65	11706.65	5853.33
Z-5	4480.00	4480.00	6400.00	12800.00	12800.00	6400.00
Z-6	4212.70	4212.70	6018.14	12036.27	12036.27	6018.14
Z-7	3724.83	3724.83	5321.19	10642.37	10642.37	5321.19
Z-8	3806.75	3806.75	5438.22	10876.44	10876.44	5438.22
Z-9	3806.75	3806.75	5438.22	10876.44	10876.44	5438.22
Z-10	4212.70	4212.70	6018.14	12036.27	12036.27	6018.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 5. Cálculo de rigideces (K):

Tabla N° 6.155. Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "B".

ZAPATA	A (m²)	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
Z-1	3.60	1.20	0.97	2.17
Z-2	5.52	2.65	2.43	5.08
Z-3	4.83	2.13	1.78	3.90
Z-4	4.83	2.13	1.78	3.90
Z-5	3.60	1.20	0.97	2.17
Z-6	4.40	1.77	1.47	3.24
Z-7	6.75	4.10	3.52	7.62
Z-8	6.24	3.52	3.00	6.51
Z-9	6.24	3.52	3.00	6.51
Z-10	4.40	1.77	1.47	3.24

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 6.156. Cálculo de rigideces del módulo "B".

ZAPATA	K <sub>x</sub> (Tn/m)	K <sub>y</sub> (Tn/m)	K <sub>z</sub> (Tn/m)	K <sub>φx</sub> (Tn.m)	K <sub>φy</sub> (Tn.m)	K <sub>ψz</sub> (Tn.m)
Z-1	16128.00	16128.00	23040.00	15360.00	12441.60	13900.80
Z-2	21755.45	21755.45	31079.21	29836.04	27401.50	28618.77
Z-3	19790.10	19790.10	28271.57	24926.10	20779.60	22852.85
Z-4	19790.10	19790.10	28271.57	24926.10	20779.60	22852.85
Z-5	16128.00	16128.00	23040.00	15360.00	12441.60	13900.80
Z-6	18535.86	18535.86	26479.80	21360.37	17653.20	19506.79
Z-7	25142.61	25142.61	35918.01	43640.38	37414.60	40527.49
Z-8	23754.14	23754.14	33934.48	38232.85	32577.10	35404.98
Z-9	23754.14	23754.14	33934.48	38232.85	32577.10	35404.98
Z-10	18535.86	18535.86	26479.80	21360.37	17653.20	19506.79

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**MÓDULO "C": MODELO DINÁMICO D. D. BARKAN - O. A. SAVINOV**

**1. Cálculo de masas traslacionales:**

**Tabla N° 6.157.** Cálculo de masas traslacionales del módulo "C".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	7.00	0.71	0.71	0.71
Z-2	2.20	4.60	0.40	9.72	0.99	0.99	0.99
Z-3	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-4	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02
Z-5	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-6	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02
Z-7	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-8	1.85	3.75	0.40	6.66	0.68	0.68	0.68
Z-9	1.75	3.60	0.40	6.05	0.62	0.62	0.62
Z-10	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-11	3.00	3.15	0.40	9.07	0.92	0.92	0.92
Z-12	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-13	3.00	3.15	0.40	9.07	0.92	0.92	0.92
Z-14	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-15	2.50	2.60	0.40	6.24	0.64	0.64	0.64
Z-16	1.60	1.80	0.40	2.76	0.28	0.28	0.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**2. Cálculo de masas rotacionales:**

**Tabla N° 6.158.** Cálculo de masas rotacionales del módulo "C".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	0.71	1.01	0.23	1.17
Z-2	2.20	4.60	0.40	0.99	1.80	0.45	2.15
Z-3	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-4	3.15	3.30	0.40	1.02	0.98	0.90	1.76
Z-5	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-6	3.15	3.30	0.40	1.02	0.98	0.90	1.76
Z-7	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-8	1.85	3.75	0.40	0.68	0.83	0.23	0.99
Z-9	1.75	3.60	0.40	0.62	0.70	0.19	0.82
Z-10	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-11	3.00	3.15	0.40	0.92	0.81	0.74	1.46
Z-12	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-13	3.00	3.15	0.40	0.92	0.81	0.74	1.46
Z-14	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-15	2.50	2.60	0.40	0.64	0.39	0.37	0.69
Z-16	1.60	1.80	0.40	0.28	0.09	0.08	0.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 3. Cálculo de la presión estática:

**Tabla N° 6.159.** Cálculo de pesos tributarios del módulo "C".

Peso tributario Z-1 =	37459.64	Kg	Peso Z-1 =	6998.40	Kg
Peso tributario Z-2 =	76948.48	Kg	Peso Z-2 =	9715.20	Kg
Peso tributario Z-3 =	62785.88	Kg	Peso Z-3 =	8481.60	Kg
Peso tributario Z-4 =	68940.25	Kg	Peso Z-4 =	9979.20	Kg
Peso tributario Z-5 =	64258.33	Kg	Peso Z-5 =	8481.60	Kg
Peso tributario Z-6 =	67363.69	Kg	Peso Z-6 =	9979.20	Kg
Peso tributario Z-7 =	66093.48	Kg	Peso Z-7 =	8481.60	Kg
Peso tributario Z-8 =	41270.61	Kg	Peso Z-8 =	6660.00	Kg
Peso tributario Z-9 =	25654.16	Kg	Peso Z-9 =	6048.00	Kg
Peso tributario Z-10 =	39240.55	Kg	Peso Z-10 =	7788.00	Kg
Peso tributario Z-11 =	42087.23	Kg	Peso Z-11 =	9072.00	Kg
Peso tributario Z-12 =	38857.39	Kg	Peso Z-12 =	7788.00	Kg
Peso tributario Z-13 =	44121.65	Kg	Peso Z-13 =	9072.00	Kg
Peso tributario Z-14 =	37902.13	Kg	Peso Z-14 =	7788.00	Kg
Peso tributario Z-15 =	23952.24	Kg	Peso Z-15 =	6240.00	Kg
Peso tributario Z-16 =	12164.40	Kg	Peso Z-16 =	2764.80	Kg

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.160.** Cálculo de áreas de zapatas del módulo "C".

Zapata	Largo (m)	Ancho (m)	Peralte (m)	Volumen (m³)	Área (cm²)
Z-1	1.80	4.05	0.40	2.92	72900.00
Z-2	2.20	4.60	0.40	4.05	101200.00
Z-3	2.85	3.10	0.40	3.53	88350.00
Z-4	3.15	3.30	0.40	4.16	103950.00
Z-5	2.85	3.10	0.40	3.53	88350.00
Z-6	3.15	3.30	0.40	4.16	103950.00
Z-7	2.85	3.10	0.40	3.53	88350.00
Z-8	1.85	3.75	0.40	2.78	69375.00
Z-9	1.75	3.60	0.40	2.52	63000.00
Z-10	2.75	2.95	0.40	3.25	81125.00
Z-11	3.00	3.15	0.40	3.78	94500.00
Z-12	2.75	2.95	0.40	3.25	81125.00
Z-13	3.00	3.15	0.40	3.78	94500.00
Z-14	2.75	2.95	0.40	3.25	81125.00
Z-15	2.50	2.60	0.40	2.60	65000.00
Z-16	1.60	1.80	0.40	1.15	28800.00

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.161.** Cálculo de presión estática del módulo "C".

Zapata	Presión estática (Kg/cm²)
Z-1	0.61
Z-2	0.86
Z-3	0.81
Z-4	0.76



Z-5	<b>0.82</b>
Z-6	<b>0.74</b>
Z-7	<b>0.84</b>
Z-8	<b>0.69</b>
Z-9	<b>0.50</b>
Z-10	<b>0.58</b>
Z-11	<b>0.54</b>
Z-12	<b>0.57</b>
Z-13	<b>0.56</b>
Z-14	<b>0.56</b>
Z-15	<b>0.46</b>
Z-16	<b>0.52</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4. Coeficiente de balasto ( $C_o$ ):

$$C_o = 1.19 \text{ kg/cm}^2$$

5. Cálculo del coeficiente  $D_o$ :

$$\mu = 0.3$$

$$D_o = 0.98$$

6. Cálculo de coeficientes de rigidez ( $C$ ):

Tabla N° 6.162. Propiedades de las zapatas del módulo "C".

ZAPATA	a (m)	b(m)	$\Delta$ (m <sup>-1</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$\rho$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho_o$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	1.80	4.05	1.00	7.29	0.61	0.20
Z-2	2.20	4.60	1.00	10.12	0.86	0.20
Z-3	2.85	3.10	1.00	8.84	0.81	0.20
Z-4	3.15	3.30	1.00	10.40	0.76	0.20
Z-5	2.85	3.10	1.00	8.84	0.82	0.20
Z-6	3.15	3.30	1.00	10.40	0.74	0.20
Z-7	2.85	3.10	1.00	8.84	0.84	0.20
Z-8	1.85	3.75	1.00	6.94	0.69	0.20
Z-9	1.75	3.60	1.00	6.30	0.50	0.20
Z-10	2.75	2.95	1.00	8.11	0.58	0.20
Z-11	3.00	3.15	1.00	9.45	0.54	0.20
Z-12	2.75	2.95	1.00	8.11	0.57	0.20
Z-13	3.00	3.15	1.00	9.45	0.56	0.20
Z-14	2.75	2.95	1.00	8.11	0.56	0.20
Z-15	2.50	2.60	1.00	6.50	0.46	0.20
Z-16	1.60	1.80	1.00	2.88	0.52	0.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.163.** Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C".

ZAPATA	Do (Kg/cm <sup>3</sup> )	Co (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	0.98	1.19	4.46	4.46	5.41	10.03	7.47
Z-2	0.98	1.19	4.75	4.75	5.77	10.25	7.91
Z-3	0.98	1.19	4.62	4.62	5.61	8.96	8.69
Z-4	0.98	1.19	4.28	4.28	5.20	8.14	8.01
Z-5	0.98	1.19	4.67	4.67	5.67	9.06	8.78
Z-6	0.98	1.19	4.24	4.24	5.14	8.06	7.93
Z-7	0.98	1.19	4.73	4.73	5.74	9.17	8.89
Z-8	0.98	1.19	4.76	4.76	5.78	10.56	8.14
Z-9	0.98	1.19	4.19	4.19	5.09	9.41	7.19
Z-10	0.98	1.19	4.01	4.01	4.87	7.82	7.62
Z-11	0.98	1.19	3.71	3.71	4.51	7.12	6.99
Z-12	0.98	1.19	4.00	4.00	4.85	7.79	7.59
Z-13	0.98	1.19	3.78	3.78	4.59	7.26	7.13
Z-14	0.98	1.19	3.96	3.96	4.80	7.71	7.51
Z-15	0.98	1.19	3.84	3.84	4.66	7.56	7.45
Z-16	0.98	1.19	5.30	5.30	6.44	11.23	10.70

Fuente: Elaboración propia, 2015.

7. Cálculo de rigideces (K):

**Tabla N° 6.164.** Cálculo de rigideces del módulo "C".

APATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)
Z-1	32497.31	32497.31	39461.02	99951.98	14694.09
Z-2	48101.00	48101.00	58408.35	182887.09	32297.95
Z-3	40809.15	40809.15	49553.97	63416.68	51982.98
Z-4	44478.85	44478.85	54010.03	76787.71	68815.39
Z-5	41228.57	41228.57	50063.26	64068.45	52517.24
Z-6	44032.34	44032.34	53467.84	76016.86	68124.56
Z-7	41745.41	41745.41	50690.85	64871.61	53175.59
Z-8	33036.46	33036.46	40115.70	85889.08	16109.33
Z-9	26426.17	26426.17	32088.92	64011.72	11561.45
Z-10	32555.73	32555.73	39531.96	46006.15	38958.06
Z-11	35068.44	35068.44	42583.10	55608.95	49557.92
Z-12	32422.84	32422.84	39370.59	45818.36	38799.03
Z-13	35758.91	35758.91	43421.54	56703.85	50533.69
Z-14	32089.12	32089.12	38965.36	45346.77	38399.69
Z-15	24941.27	24941.27	30285.83	27685.84	25219.30
Z-16	15272.44	15272.44	18545.11	8731.53	6572.02

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### MÓDULO "C": MODELO DINÁMICO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

#### 1. Cálculo de masas traslacionales:

Tabla N° 6.165. Cálculo de masas traslacionales del módulo "C".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	7.00	0.71	0.71	0.71
Z-2	2.20	4.60	0.40	9.72	0.99	0.99	0.99
Z-3	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-4	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02
Z-5	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-6	3.15	3.30	0.40	9.98	1.02	1.02	1.02
Z-7	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-8	1.85	3.75	0.40	6.66	0.68	0.68	0.68
Z-9	1.75	3.60	0.40	6.05	0.62	0.62	0.62
Z-10	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-11	3.00	3.15	0.40	9.07	0.92	0.92	0.92
Z-12	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-13	3.00	3.15	0.40	9.07	0.92	0.92	0.92
Z-14	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-15	2.50	2.60	0.40	6.24	0.64	0.64	0.64
Z-16	1.60	1.80	0.40	2.76	0.28	0.28	0.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 2. Cálculo de masas rotacionales:

Tabla N° 6.166. Cálculo de masas rotacionales del módulo "C".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mψz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.80	4.05	0.40	0.71	1.01	0.23	1.17
Z-2	2.20	4.60	0.40	0.99	1.80	0.45	2.15
Z-3	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-4	3.15	3.30	0.40	1.02	0.98	0.90	1.76
Z-5	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-6	3.15	3.30	0.40	1.02	0.98	0.90	1.76
Z-7	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-8	1.85	3.75	0.40	0.68	0.83	0.23	0.99
Z-9	1.75	3.60	0.40	0.62	0.70	0.19	0.82
Z-10	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-11	3.00	3.15	0.40	0.92	0.81	0.74	1.46
Z-12	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-13	3.00	3.15	0.40	0.92	0.81	0.74	1.46
Z-14	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-15	2.50	2.60	0.40	0.64	0.39	0.37	0.69
Z-16	1.60	1.80	0.40	0.28	0.09	0.08	0.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 3. Cálculo del coeficiente de compresión elástico (Cz):

**Tabla N° 6.167.** Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "C".

Zapata	a (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )	A10 (m <sup>2</sup> )	bo (m <sup>-1</sup> )	E (Tn/m <sup>2</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	1.80	4.05	7.29	10.00	1.20	2000.00	5210.91
Z-2	2.20	4.60	10.12	10.00	1.20	2000.00	4785.73
Z-3	2.85	3.10	8.84	10.00	1.20	2000.00	4953.34
Z-4	3.15	3.30	10.40	10.00	1.20	2000.00	4753.96
Z-5	2.85	3.10	8.84	10.00	1.20	2000.00	4953.34
Z-6	3.15	3.30	10.40	10.00	1.20	2000.00	4753.96
Z-7	2.85	3.10	8.84	10.00	1.20	2000.00	4953.34
Z-8	1.85	3.75	6.94	10.00	1.20	2000.00	5281.44
Z-9	1.75	3.60	6.30	10.00	1.20	2000.00	5423.72
Z-10	2.75	2.95	8.11	10.00	1.20	2000.00	5064.61
Z-11	3.00	3.15	9.45	10.00	1.20	2000.00	4868.85
Z-12	2.75	2.95	8.11	10.00	1.20	2000.00	5064.61
Z-13	3.00	3.15	9.45	10.00	1.20	2000.00	4868.85
Z-14	2.75	2.95	8.11	10.00	1.20	2000.00	5064.61
Z-15	2.50	2.60	6.50	10.00	1.20	2000.00	5376.83
Z-16	1.60	1.80	2.88	10.00	1.20	2000.00	6872.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):

**Tabla N° 6.168.** Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C".

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	3647.64	3647.64	5210.91	10421.83	10421.83	5210.91
Z-2	3350.01	3350.01	4785.73	9571.46	9571.46	4785.73
Z-3	3467.34	3467.34	4953.34	9906.67	9906.67	4953.34
Z-4	3327.77	3327.77	4753.96	9507.92	9507.92	4753.96
Z-5	3467.34	3467.34	4953.34	9906.67	9906.67	4953.34
Z-6	3327.77	3327.77	4753.96	9507.92	9507.92	4753.96
Z-7	3467.34	3467.34	4953.34	9906.67	9906.67	4953.34
Z-8	3697.01	3697.01	5281.44	10562.88	10562.88	5281.44
Z-9	3796.60	3796.60	5423.72	10847.43	10847.43	5423.72
Z-10	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-11	3408.20	3408.20	4868.85	9737.71	9737.71	4868.85
Z-12	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-13	3408.20	3408.20	4868.85	9737.71	9737.71	4868.85
Z-14	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-15	3763.78	3763.78	5376.83	10753.67	10753.67	5376.83
Z-16	4810.50	4810.50	6872.14	13744.27	13744.27	6872.14

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### 5. Cálculo de rigideces (K):

**Tabla N° 6.169.** Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "C".

ZAPATA	A (m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
Z-1	7.29	9.96	1.97	11.93
Z-2	10.12	17.84	4.08	21.93
Z-3	8.84	7.08	5.98	13.06
Z-4	10.40	9.43	8.60	18.03
Z-5	8.84	7.08	5.98	13.06
Z-6	10.40	9.43	8.60	18.03
Z-7	8.84	7.08	5.98	13.06
Z-8	6.94	8.13	1.98	10.11
Z-9	6.30	6.80	1.61	8.41
Z-10	8.11	5.88	5.11	11.00
Z-11	9.45	7.81	7.09	14.90
Z-12	8.11	5.88	5.11	11.00
Z-13	9.45	7.81	7.09	14.90
Z-14	8.11	5.88	5.11	11.00
Z-15	6.50	3.66	3.39	7.05
Z-16	2.88	0.78	0.61	1.39

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.170.** Cálculo de rigideces del módulo "C".

ZAPATA	K <sub>x</sub> (Tn/m)	K <sub>y</sub> (Tn/m)	K <sub>z</sub> (Tn/m)	K <sub>φx</sub> (Tn.m)	K <sub>φy</sub> (Tn.m)	K <sub>φz</sub> (Tn.m)
Z-1	26591.29	26591.29	37987.56	103848.49	20513.28	62180.89
Z-2	33902.10	33902.10	48431.57	170802.01	39068.13	104935.07
Z-3	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-4	34592.19	34592.19	49417.41	89692.60	81724.04	85708.32
Z-5	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-6	34592.19	34592.19	49417.41	89692.60	81724.04	85708.32
Z-7	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-8	25648.00	25648.00	36640.00	85874.99	20900.07	53387.53
Z-9	23918.59	23918.59	34169.41	73805.92	17440.64	45623.28
Z-10	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-11	32207.47	32207.47	46010.67	76090.14	69016.00	72553.07
Z-12	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-13	32207.47	32207.47	46010.67	76090.14	69016.00	72553.07
Z-14	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-15	24464.59	24464.59	34949.42	39376.34	36405.64	37890.99
Z-16	13854.23	13854.23	19791.75	10687.55	8444.48	9566.01

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**MÓDULO “C-SS.HH”: MODELO DINÁMICO: D. D. BARKAN - O. A. SAVINOV**

**1. Cálculo de masas traslacionales:**

**Tabla N° 6.171.** Cálculo de masas traslacionales del módulo “C - SS.HH”.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	6.66	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>
Z-2	2.85	3.10	0.40	8.48	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>
Z-3	2.70	2.90	0.40	7.52	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>
Z-4	2.50	2.60	0.40	6.24	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>
Z-5	2.75	2.95	0.40	7.79	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>
Z-6	1.75	3.60	0.40	6.05	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>	<b>0.62</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**2. Cálculo de masas rotacionales:**

**Tabla N° 6.172.** Cálculo de masas rotacionales del módulo “C – SS.HH”.

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	0.68	<b>0.83</b>	<b>0.23</b>	<b>0.99</b>
Z-2	2.85	3.10	0.40	0.86	<b>0.74</b>	<b>0.63</b>	<b>1.28</b>
Z-3	2.70	2.90	0.40	0.77	<b>0.58</b>	<b>0.51</b>	<b>1.00</b>
Z-4	2.50	2.60	0.40	0.64	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	<b>0.69</b>
Z-5	2.75	2.95	0.40	0.79	<b>0.62</b>	<b>0.54</b>	<b>1.08</b>
Z-6	1.75	3.60	0.40	0.62	<b>0.70</b>	<b>0.19</b>	<b>0.82</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**3. Cálculo de la presión estática:**

**Tabla N° 6.173.** Cálculo de pesos tributarios del módulo “C – SS.HH”.

Peso tributario Z-1 =	<b>39317.76</b>	Kg	Peso Z-1 =	<b>6660.00</b>	Kg
Peso tributario Z-2 =	<b>72295.98</b>	Kg	Peso Z-2 =	<b>8481.60</b>	Kg
Peso tributario Z-3 =	<b>43615.05</b>	Kg	Peso Z-3 =	<b>7516.80</b>	Kg
Peso tributario Z-4 =	<b>26619.65</b>	Kg	Peso Z-4 =	<b>6240.00</b>	Kg
Peso tributario Z-5 =	<b>46308.47</b>	Kg	Peso Z-5 =	<b>7788.00</b>	Kg
Peso tributario Z-6 =	<b>25533.58</b>	Kg	Peso Z-6 =	<b>6048.00</b>	Kg

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.174.** Cálculo de áreas de zapatas del módulo “C- SS.HH”.

Zapata	Largo (m)	Ancho (m)	Peralte (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )
Z-1	1.85	3.75	0.40	2.78	<b>69375.00</b>
Z-2	2.85	3.10	0.40	3.53	<b>88350.00</b>
Z-3	2.70	2.90	0.40	3.13	<b>78300.00</b>
Z-4	2.50	2.60	0.40	2.60	<b>65000.00</b>
Z-5	2.75	2.95	0.40	3.25	<b>81125.00</b>
Z-6	1.75	3.60	0.40	2.52	<b>63000.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.175.** Cálculo de presión estática del módulo “C – SS.HH”.

Zapata	Presión estática (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	<b>0.48</b>
Z-2	<b>0.39</b>
Z-3	<b>0.60</b>
Z-4	<b>0.81</b>
Z-5	<b>0.99</b>
Z-6	<b>0.79</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4. Coeficiente de balasto (Co):

$$Co = 1.19 \text{ kg/cm}^2$$

5. Cálculo del coeficiente Do:

$$\mu = 0.3$$

$$Do = 0.98$$

6. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):

**Tabla N° 6.176.** Propiedades de las zapatas del módulo “C – SS.HH”.

ZAPATA	a (m)	b(m)	$\Delta$ (m <sup>-1</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$\rho$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho o$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Z-1	1.85	3.75	1.00	6.94	0.48	0.20
Z-2	2.85	3.10	1.00	8.84	0.39	0.20
Z-3	2.70	2.90	1.00	7.83	0.60	0.20
Z-4	2.50	2.60	1.00	6.50	0.81	0.20
Z-5	2.75	2.95	1.00	8.11	0.99	0.20
Z-6	1.75	3.60	1.00	6.30	0.79	0.20

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.177.** Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo “C – SS.HH”.

ZAPATA	Do (Kg/cm <sup>3</sup> )	Co (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	C $\phi$ x (Kg/cm <sup>3</sup> )	C $\phi$ y (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	0.98	1.19	<b>3.97</b>	<b>3.97</b>	<b>4.82</b>	<b>8.80</b>	<b>6.78</b>
Z-2	0.98	1.19	<b>3.19</b>	<b>3.19</b>	<b>3.87</b>	<b>6.19</b>	<b>6.01</b>
Z-3	0.98	1.19	<b>4.12</b>	<b>4.12</b>	<b>5.00</b>	<b>8.05</b>	<b>7.84</b>
Z-4	0.98	1.19	<b>5.06</b>	<b>5.06</b>	<b>6.15</b>	<b>9.97</b>	<b>9.83</b>
Z-5	0.98	1.19	<b>5.24</b>	<b>5.24</b>	<b>6.36</b>	<b>10.20</b>	<b>9.94</b>
Z-6	0.98	1.19	<b>5.25</b>	<b>5.25</b>	<b>6.38</b>	<b>11.78</b>	<b>9.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

7. Cálculo de rigideces (K):

**Tabla N° 6.178.** Cálculo de rigideces del módulo “C – SS.HH”.

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	K $\phi$ x (Tn.m)	K $\phi$ y (Tn.m)
Z-1	27528.11	27528.11	33426.99	71568.33	13423.34
Z-2	28193.45	28193.45	34234.90	43812.11	35913.01
Z-3	32251.67	32251.67	39162.74	44176.98	37293.56

Z-4	32904.17	32904.17	39955.06	36524.99	33270.96
Z-5	42483.42	42483.42	51587.01	60035.48	50838.11
Z-6	33075.50	33075.50	40163.11	80118.31	14470.53

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## MÓDULO "C-SS.HH": MODELO DINÁMICO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

### 1. Cálculo de masas traslacionales:

Tabla N° 6.179. Cálculo de masas traslacionales del módulo "C - SS.HH".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Peso (Tn)	Mx (Tn.s <sup>2</sup> /m)	My (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mz (Tn.s <sup>2</sup> /m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	6.66	0.68	0.68	0.68
Z-2	2.85	3.10	0.40	8.48	0.86	0.86	0.86
Z-3	2.70	2.90	0.40	7.52	0.77	0.77	0.77
Z-4	2.50	2.60	0.40	6.24	0.64	0.64	0.64
Z-5	2.75	2.95	0.40	7.79	0.79	0.79	0.79
Z-6	1.75	3.60	0.40	6.05	0.62	0.62	0.62

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 2. Cálculo de masas rotacionales:

Tabla N° 6.180. Cálculo de masas rotacionales del módulo "C – SS.HH".

Zapata	a (m)	b (m)	c (m)	Mt (Tn.s <sup>2</sup> /m)	Mφx (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφy (Tn.s <sup>2</sup> .m)	Mφz (Tn.s <sup>2</sup> .m)
Z-1	1.85	3.75	0.40	0.68	0.83	0.23	0.99
Z-2	2.85	3.10	0.40	0.86	0.74	0.63	1.28
Z-3	2.70	2.90	0.40	0.77	0.58	0.51	1.00
Z-4	2.50	2.60	0.40	0.64	0.39	0.37	0.69
Z-5	2.75	2.95	0.40	0.79	0.62	0.54	1.08
Z-6	1.75	3.60	0.40	0.62	0.70	0.19	0.82

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 3. Cálculo del coeficiente de compresión elástico (Cz):

Tabla N° 6.181. Cálculo del coeficiente de compresión elástico del módulo "C – SS.HH".

Zapata	a (m)	b (m)	A (m <sup>2</sup> )	A10 (m <sup>2</sup> )	bo (m <sup>-1</sup> )	E (Tn/m <sup>2</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	1.85	3.75	6.94	10.00	1.20	2000.00	5281.44
Z-2	2.85	3.10	8.84	10.00	1.20	2000.00	4953.34
Z-3	2.70	2.90	7.83	10.00	1.20	2000.00	5112.25
Z-4	2.50	2.60	6.50	10.00	1.20	2000.00	5376.83
Z-5	2.75	2.95	8.11	10.00	1.20	2000.00	5064.61
Z-6	1.75	3.60	6.30	10.00	1.20	2000.00	5423.72

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 4. Cálculo de coeficientes de rigidez (C):



**Tabla N° 6.182.** Cálculo de coeficientes de rigidez del módulo "C - SS.HH".

ZAPATA	Cx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cz (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφx (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφy (Kg/cm <sup>3</sup> )	Cφz (Kg/cm <sup>3</sup> )
Z-1	3697.01	3697.01	5281.44	10562.88	10562.88	5281.44
Z-2	3467.34	3467.34	4953.34	9906.67	9906.67	4953.34
Z-3	3578.58	3578.58	5112.25	10224.51	10224.51	5112.25
Z-4	3763.78	3763.78	5376.83	10753.67	10753.67	5376.83
Z-5	3545.23	3545.23	5064.61	10129.22	10129.22	5064.61
Z-6	3796.60	3796.60	5423.72	10847.43	10847.43	5423.72

Fuente: Elaboración propia, 2015.

### 5. Cálculo de rigideces (K):

**Tabla N° 6.183.** Cálculo de momentos de inercia de las zapatas del módulo "C – SS-HH".

ZAPATA	A (m <sup>2</sup> )	Ix (m <sup>4</sup> )	Iy (m <sup>4</sup> )	Iz (m <sup>4</sup> )
Z-1	6.94	8.13	1.98	10.11
Z-2	8.84	7.08	5.98	13.06
Z-3	7.83	5.49	4.76	10.24
Z-4	6.50	3.66	3.39	7.05
Z-5	8.11	5.88	5.11	11.00
Z-6	6.30	6.80	1.61	8.41

Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Tabla N° 6.184.** Cálculo de rigideces del módulo "C – SS.HH".

ZAPATA	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)	Kφz (Tn.m)
Z-1	25648.00	25648.00	36640.00	85874.99	20900.07	53387.53
Z-2	30633.91	30633.91	43762.72	70093.30	59243.79	64668.54
Z-3	28020.26	28020.26	40028.95	56107.24	48635.17	52371.21
Z-4	24464.59	24464.59	34949.42	39376.34	36405.64	37890.99
Z-5	28760.66	28760.66	41086.66	59592.78	51786.31	55689.54
Z-6	23918.59	23918.59	34169.41	73805.92	17440.64	45623.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

## **ANEXO N°04: PANEL FOTOGRÁFICO**

**Figura N° 7.19.** Calicata N°01, ubicada a un costado del módulo "B" de dos niveles.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.20.** Calicata N°01, profundidad 3.00m.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.



**Figura N° 7.21.** Calicata N°02, ubicada a un costado del módulo “C” de tres niveles.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.22.** Calicata N°02, profundidad 3.00m.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.23.** Análisis granulométrico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.24.** Análisis granulométrico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.



**Figura N° 7.25.** Contenido de humedad.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.26.** Contenido de humedad.



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.27. Límite líquido.**



Fuente: Elaboración propia, 2015.

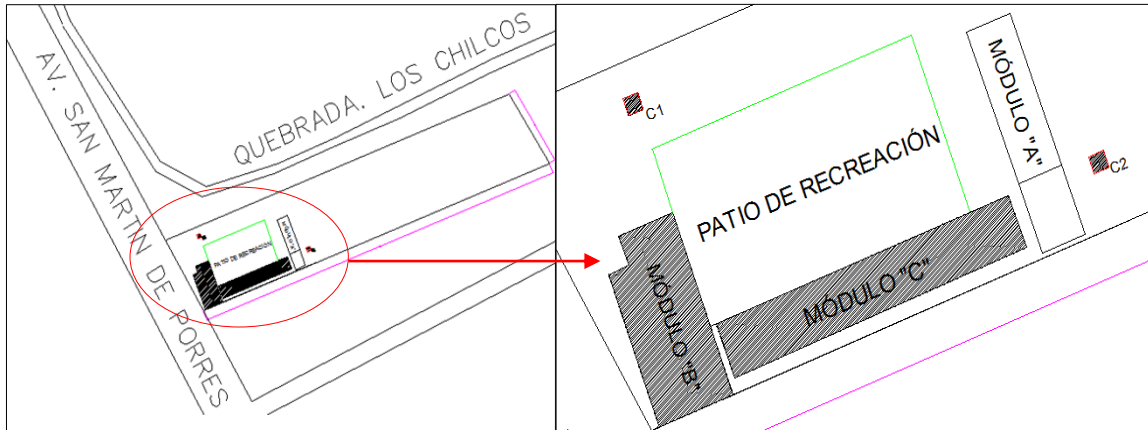
**Figura N° 7.28. Límite líquido.**



Fuente: Elaboración propia, 2015.



**Figura N° 7.29.** Croquis de las calicatas.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.30.** Módulo "B".



Fuente: Elaboración propia, 2015.



**Figura N° 7.31. Módulo "C".**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.

**Figura N° 7.32. Módulo "C".**



**Fuente:** Elaboración propia, 2015.