

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN  
INCORPORANDO PÉNDULO DE FRICCIÓN”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Díaz Torres, Alexis Amett

Bach. Araya Ramos, Katerlin Elizabeth

Asesor:

Dr. Ing. Mosqueira Moreno, Miguel Angel

Cajamarca - Perú

2019



## **DEDICATORIA**

### **A mi madre.**

Por ser el pilar de apoyo para poder realizar mis objetivos, sueños y metas trazadas en mi vida, por la confianza depositada en mí en cada momento de su vida, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero, sobre todo, por su amor.

### **A mi familia.**

por su apoyo incondicional, por que creyeron en mí pese a algunos resultados indeseados; porque me enseñaron a no rendirme ante las dificultades que se me presentasen con una actitud firme y por enseñarme a tomar riesgos asumiendo las consecuencias de mis actos con una actitud impecable.

## AGRADECIMIENTO

### **A Dios.**

Por ser guía incondicional en nuestras vidas ayudándonos a tomar las mejores decisiones para poder terminar satisfactoriamente una etapa académica.

### **A mis amigos.**

Por acompañarnos en nuestra trayectoria universitaria y demostrar que lo más importante, es estar juntos.

### **A mi asesor.**

Dr. Ing. Miguel Mosqueira, por la amistad y los conocimientos brindados en el transcurso de la elaboración de este proyecto de investigación.

### **A mi alma mater.**

Universidad Privada de Norte, por formarnos como profesionales capaces para enfrentar el mundo laboral.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema .....	42
1.3. Objetivos .....	42
1.4. Hipótesis .....	42
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
2.1. Tipo de investigación .....	43
2.2. Población y muestra .....	43
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	45
2.4. Procedimiento .....	45
A. DISEÑO DEL AISLADOR FPT .....	53
B. MODELAMIENTO DE LOS MÓDULOS SIN FPS .....	63
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
3.1 Estructura Sin aislamiento.....	95
3.1.1 Resultados del módulo 1 – sin péndulos de fricción (FPS): .....	95
3.1.1.1 Periodo Natural: .....	95
3.1.1.2 Deformación lateral: .....	96
3.1.1.3 Derivas de entrepiso:.....	96
3.1.1.4 Fuerzas por piso: .....	97
3.1.2 Resultados del módulo 2 – Sin péndulos de fricción (FPS):.....	98
3.1.2.1 Periodo Natural: .....	98
3.1.2.2 Deformación lateral: .....	98
3.1.2.3 Derivas de entrepiso:.....	99
3.1.2.4 Fuerzas por piso: .....	100
3.1.3 Resultados del módulo 3 – sin péndulos de fricción (FPS): .....	100
3.1.3.1 Periodo Natural: .....	100
3.1.3.2 Deformación lateral:.....	101
3.1.3.3 Derivas de entrepiso:.....	101
3.2 Estructura con aislamiento .....	102
3.2.1 Resultados del módulo 1 – Con FPS: .....	103
3.2.1.1 Periodo Natural: .....	103
3.2.1.2 Deformación lateral: .....	103
3.2.1.3 Derivas de entrepiso:.....	104

3.2.1.4 Fuerzas por piso: .....	105
3.2.2 Resultados del módulo 2-Con FPS: .....	105
3.2.2.1 Periodo Natural: .....	105
3.2.2.2 Deformación lateral: .....	106
3.2.2.3 Derivas de entrepiso:.....	106
3.2.2.4 Fuerzas por piso: .....	107
3.2.3 Resultados del módulo 3 - con FPS:.....	108
3.2.3.1 Periodo Natural: .....	108
3.2.3.2 Deformación lateral: .....	108
3.2.3.3 Derivas de entrepiso:.....	109
3.2.3.4 Fuerzas por piso: .....	110
3.2.4 RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO SIN FPS Y CON FPS. ....	110
3.2.4.1 Periodos naturales .....	110
3.2.4.2 Deformación lateral.....	113
3.2.4.3.Fuerzas en las bases .....	115
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa de las normas, FEMA, UBC y Norma Chilena.....	17
Tabla 2. Fases de movimiento del aislador FPS de tercera generación .....	36
Tabla 3. Dimensiones estándar para placas cóncavas en aisladores FPS.....	37
Tabla 4: Ambientes del edificio a analizar.....	46
Tabla 5: Propiedades utilizadas en Etabs .....	63
Tabla 6. Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 1 .....	95
Tabla 7. Deformación lateral en dirección X – módulo 1 .....	96
Tabla 8. Deformación lateral en dirección Y – módulo 1 .....	96
Tabla 9. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 1.....	96
Tabla 10. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 1 .....	97
Tabla 11. Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 2 .....	98
Tabla 12. Deformación lateral en dirección X – módulo 2 .....	98
Tabla 13 Deformación lateral en dirección Y – módulo 2. ....	99
Tabla 14. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 2 .....	99
Tabla 15. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 2 .....	99
Tabla 16. Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 2 .....	100
Tabla 17. Deformación lateral en dirección X – módulo 3.....	101
Tabla 18. Deformación lateral en dirección Y – módulo 3 .....	101
Tabla 19. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 3.....	101
Tabla 20. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 3.....	102
Tabla 21 Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 1.....	103
Tabla 22 Deformación lateral en dirección X – módulo 1.....	103
Tabla 23 Deformación lateral en dirección Y – módulo 1.....	104
Tabla 24. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 1.....	104
Tabla 25. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 1.....	104
Tabla 26 Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 2. ....	105
Tabla 27. Deformación lateral en dirección X – módulo 1 .....	106
Tabla 28 Deformación lateral en dirección Y– módulo 2. ....	106
Tabla 29. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 2.....	106
Tabla 30. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 2.....	107
Tabla 31. Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 3.....	108
Tabla 32. Deformación lateral en dirección X – módulo 3 .....	108
Tabla 33. Deformación lateral en dirección Y – módulo 3 .....	109
Tabla 34. Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 3.....	109
Tabla 35. Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 3.....	109
Tabla 36. Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-modulo 1 .....	110
Tabla 37. Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-modulo 2.....	111
Tabla 38. Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-modulo 3.....	112
Tabla 39. Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 1 .....	113
Tabla 40. Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 2 .....	114
Tabla 41. Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 3 .....	114
Tabla 42 Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 1. ....	115
Tabla 43. Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 2 .....	116
Tabla 44. Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 3.....	116
Tabla 45. Zonificación.....	124
Tabla 46. Tipo de suelo .....	125
Tabla 47 Factor de suelo.....	125
Tabla 48. Periodos $T_p$ y $T$ .....	125
Tabla 49 Factor de uso.....	125
Tabla 50. Coeficiente Básico de Reducción $R_0$ .....	126
Tabla 51 Cálculo de $ZUCS/R$ para módulo 1 y 3. ....	126
Tabla 52. Espectro de sismo módulo 1 y 3 .....	127

<i>Tabla 53. Coeficiente Básico de Reducción <math>R_0</math>.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 54. Cálculo de <math>ZUCS/R</math> para módulo 2.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 55. Espectro de sismo módulo 2.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 56 Ejemplo de desplazamiento máximo para cada sismo</i> <i>.....</i>	<i>134</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aislador elastoméricos.....	19
Figura 2. Partes del aislador elastoméricos con núcleo de plomo. ....	19
Figura 3. Partes del apoyo deslizador tipo EDF .....	20
Figura 4:Partes del apoyo deslizador tipo R-FBI.....	20
Figura 5. Principio de funcionamiento de aisladores FPS a) péndulo convencional y b) péndulo de fricción. .....	22
Figura 6. Tipos de aisladores FPS, a) simple, b) doble y c) triple péndulo de fricción.....	22
Figura 7. Función de la articulación en aisladores FPS. ....	23
Figura 8. Importancia del anillo de retención en aisladores FPS. a) sin anillo b) con anillo.....	23
Figura 9. Esquema de aislador FPS. ....	24
Figura 10. Respuesta sísmica de una estructura convencional y una con aislación sísmica.....	25
Figura 11. Desplazamientos máximos.....	25
Figura 12. Aisladores FPS de primera generación.....	26
Figura 13. Aisladores FPS de segunda generación.....	27
Figura 14: Partes del FPS de tercera generación. ....	27
Figura 15. Ubicación de la interfaz de aislación en estructuras con aisladores FPS.....	28
Figura 16: Instalación de FPT en la parte superior de la columna. No hay necesidad de piso técnico para los aisladores. ....	28
Figura 17: interfaz de aislación ubicado entre la cimentación y la losa del primer piso. ....	29
Figura 18: Partes del aislador de triple péndulo. ....	29
Figura 19. Partes principales y nomenclatura del FPS de 3° generación. ....	30
Figura 20: Fase I del aislador FPS 3° generación a) posición deformada b) diagrama de cuerpo libre. ....	30
Figura 21: Fases de desplazamientos. ....	37
Figura 22: Nomenclatura del aislador FPT para calcular el tamaño del aislador.....	39
Figura 23: ejemplo de aislador con nomenclatura. ....	41
Figura 24: Plano de ubicación de la edificación modelada (ANEXO 3).....	44
Figura 25: Planta típica del módulo 1 = 10x12.55m <sup>2</sup> .....	47
Figura 26: Planta típica del módulo 2 = 10x7.2m <sup>2</sup> .....	48
Figura 27: Planta típica del módulo 3 = 10x6.9m <sup>2</sup> .....	48
Figura 28: Elevación típica del módulo 1.....	49
Figura 29: Elevación típica del módulo 2.....	49
Figura 30: Elevación típica del módulo 3.....	50
Figura 31. Columna C1 de 40 x 25 cm.....	51
Figura 32: Columna C2 en L. ....	52
Figura 33: Columna C4 en 25x25 cm.....	52
Figura 34. Columna C3 en 15x45 cm.....	52
Figura 35. Sección de viga 101 40x25 cm.....	53
Figura 36: Módulo 1 con FPS en Etabs.....	54
Figura 37: Módulo 2 con FPS en Etabs.....	54
Figura 38: Módulo 3 con FPS en Etabs.....	55
Figura 39: Diámetro de deslizador rígido. ....	55
Figura 40: Espesores de las placas 1,2,3 y 4.....	56
Figura 41: Alturas del sistema. ....	57
Figura 42. Geometría del aislador FPT8833.....	59
Figura 43. Geometría de FPS - modelado en AutoCAD (anexo 7).....	59
Figura 44. Modelado 3D del péndulo (anexo 8).....	60
Figura 45. Placas 2 y 3 del FPT (anexo 8).....	60
Figura 46. Ingreso de valores en eje X y Y.....	63
Figura 47. Ingreso de valores en eje Z.....	64
Figura 48. Definición de material Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	64
Figura 49: Definición de material acero grado 60.....	65
Figura 50. Sección de viga 101 40x25cm.....	65
Figura 51. Propiedades de reforzamiento de viga 101.....	66

Figura 52. Sección viga 102 40 X15 cm.....	66
Figura 53 .Propiedades de reforzamiento de viga 102.....	67
Figura 54. Sección columna 25x40cm.....	67
Figura 55.Propiedades de reforzamiento de la columna 20x40cm.....	68
Figura 56. Sección columna L 15x40x15cm.....	68
Figura 57. Propiedades de reforzamiento de la columna L 15x40x15cm.....	69
Figura 58. Sección columna 15x45cm.....	69
Figura 59. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x45cm.....	70
Figura 60. Sección columna 15x25cm.....	70
Figura 61. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x25cm.....	71
Figura 62. Sección columna 25x25cm.....	71
Figura 63. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x25cm.....	72
Figura 64.Definición de elemento losa.....	72
Figura 65. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 1.....	73
Figura 66 .Vista isométrica del módulo 1.....	73
Figura 67. Ingreso de cargas muertas – módulo 1.....	74
Figura 68. Ingreso de carga viva – módulo 1.....	74
Figura 69. Asignación de diafragmas por cada nivel – módulo 1.....	75
Figura 70. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 1.....	75
Figura 71. Asignación de empotramiento en la base – módulo 1.....	76
Figura 72 . Definición de análisis estático en X – módulo 1.....	77
Figura 73 .Definición de análisis estático en Y – módulo.....	77
Figura 74. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – módulo 1.....	78
Figura 75 .Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidenta – módulo 1.....	78
Figura 76. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental – módulo 1.....	79
Figura 77. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 2.....	79
Figura 78. Vista isométrica del módulo 2.....	80
Figura 79. Ingreso de cargas muertas – módulo 2.....	80
Figura 80. Ingreso de carga viva - módulo 2.....	81
Figura 81. Asignación de diafragmas por cada nivel - módulo2.....	81
Figura 82. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 2.....	82
Figura 83. Asignación de empotramiento en la base – módulo 2.....	82
Figura 84. Definición de análisis estático en X.....	83
Figura 85. Definición de análisis estático en Y.....	83
Figura 86. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – modulo 2.....	84
Figura 87. Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidental.....	84
Figura 88. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental.....	85
Figura 89. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 3.....	86
Figura 90. Vista isométrica del módulo 3.....	86
Figura 91. Ingreso de cargas muertas - módulo 3.....	87
Figura 92. Ingreso de carga viva módulo 3.....	87
Figura 93. Asignación de diafragmas por cada nivel – módulo 3.....	88
Figura 94. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 3.....	88
Figura 95. Asignación de empotramiento en la base – módulo 3.....	88
Figura 96. Definición de análisis estático en X – módulo 3.....	89
Figura 97. Definición de análisis estático en Y – módulo 3.....	89
Figura 98. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – módulo 3.....	90
Figura 99. Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidental – módulo 3.....	90
Figura 100. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental – módulo 3.....	91
Figura 101. Ingreso de propiedades generales del FPS.....	91
Figura 102. Ingreso de propiedades en la dirección U1.....	92
Figura 103. Ingreso de propiedades en dirección U2 y U3.....	92
Figura 104: Estructura modelada con FPS.....	93
Figura 105. Pórtico A diafragma de momentos sin FPS.....	93

<i>Figura 106. Pórtico A diafragma de momentos con FPS.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 107. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY. ....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 108. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY. ....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 109. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY. ....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 110. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 111. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 112. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY. ....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 113. Comparación de los periodos del módulo 1 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 114. Comparación de los periodos del módulo 2 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 115. Comparación de los periodos del módulo 3 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 116. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 1 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 117. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 2 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 118. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 3 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 119. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 1 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 120. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 2 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 121. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 3 con FPS y sin FPS. ....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 122: Espectro de aceleraciones módulo 1 y 3. ....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 123: Ejemplo OpenSees - desplazamiento tiempo - historia - sismo RSN175.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 124: Desplazamiento máximo vs. fricción superficies externas .....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 125: Cortante basal normalizado vs. fricción superficies externas. ....</i>	<i>135</i>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Diagrama de cuerpo libre, placa 3.</i>	31
<i>Ecuación 2: Desplazamiento del péndulo.</i>	32
<i>Ecuación 3: Diagrama de cuerpo libre, placa 4.</i>	32
<i>Ecuación 4: Diagrama de cuerpo libre, placa 2.</i>	32
<i>Ecuación 5: Diagrama de cuerpo libre, placa 3.</i>	32
<i>Ecuación 6: Desplazamientos de las placas 2 y 3.</i>	32
<i>Ecuación 7: Fuerzas en sistema aislador.</i>	32
<i>Ecuación 8: Ecuación general de fuerza en fase 1.</i>	32
<i>Ecuación 9: Rigidez lateral</i>	33
<i>Ecuación 10: Periodo natural</i>	33
<i>Ecuación 14: Relación de aspecto</i>	33
<i>Ecuación 15: Diámetro del deslizador rígido.</i>	34
<i>Ecuación 16: Área del deslizador rígido.</i>	34
<i>Ecuación 17: Carga promedio</i>	34
<i>Ecuación 18: Equivalencia de alturas</i>	35
<i>Ecuación 11: Radio efectivo 3ra generación.</i>	35
<i>Ecuación 12: Equivalencias de radios</i>	35
<i>Ecuación 13: Equivalencia de coeficientes de fricción</i>	37
<i>Ecuación 21: Diámetro de placas internas.</i>	39
<i>Ecuación 22: Diámetro de placas internas.</i>	40
<i>Ecuación 23: Fuerza cortante en la base.</i>	76
<i>Ecuación 24: Periodo fundamental de vibración.</i>	124
<i>Ecuación 25: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.</i>	126
<i>Ecuación 26: Factor de reducción</i>	126
<i>Ecuación 27: Factor de reducción</i>	129

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal determinar el comportamiento sísmico de una edificación incorporando aisladores de péndulos de fricción (FPS) con respecto a una construcción existente de un edificio convencional, de cinco niveles que con sistema aporticado denominada los Pilacones, el cual se seleccionó realizando un muestreo no probabilístico, que pertenece la categoría C (edificaciones comunes) de la norma E.030 (diseño sismorresistente). El modelamiento se hizo con el software ETABS versión 2017 educacional, teniendo en cuenta los requisitos de resistencia que la norma E.060 (concreto armado) presenta. El aislamiento sísmico es una tecnología que consiste en colocar dispositivos lateralmente flexibles en la base de la edificación de manera que el periodo aumenta y se aleje de las aceleraciones máximas con respecto al diseño del espectro sísmico, consiguiendo así una disipación de energía favorable para la estructura. La edificación con FPS redujo las deformaciones laterales de la estructura analizada en “X” un 13.16% y en “Y” un 23.08%, las fuerzas en las bases se redujeron en 17.03% para “X” y en 23.02% para “Y”; cumpliendo de esta manera la hipótesis planteada en la investigación.

**Palabras clave:** comportamiento sísmico, péndulos de fricción.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A nivel mundial los sismos son estudiados y contrarrestados con nuevas tecnologías y dispositivos que avanzan a grandes pasos, tales como los aisladores y disipadores sísmicos; el primer sistema de aislación se hizo en base a aisladores mecánicos actualmente se usan los aisladores de caucho y péndulos de fricción. Países como China y Japón desarrollan a gran escala las edificaciones aisladas, sin embargo, en Sudamérica los países que tiene mayor cantidad de edificios aislados son Chile, Ecuador y Colombia. En Perú, el uso de estos dispositivos está incrementando. (Ruiz, 2017)

*“Perú se encuentra en una zona altamente sísmica pues se encuentra dentro del círculo de fuego, zona en la que se producen el 80% de sismos del mundo. En el Perú la mayoría de sismos ocurren por la convergencia tectónica de la placa Oceánica (Nazca) y la placa Continental (Sudamericana), esta interacción de placas se da en una zona de subducción, pues estas placas se acercan y se mete una debajo de otra a razón de aproximadamente 9 cm/año, esto provoca la liberación de energía en forma de ondas sísmicas.”* (Kuroiwa, 2010) citado por (Mosqueira, 2012)

Perú ha pasado por una serie de sismos, provocando muertes, y en su mayoría por la vulnerabilidad de las edificaciones ya sea por, baja resistencia de las estructuras, malas técnicas constructivas, malos materiales, entre otros. Citando los sismos más relevantes de los últimos 19 años, tenemos: 1) Arequipa (2001) con magnitud en la escala de momento de 8.4grados; 2) Lamas (2005) con magnitud en la escala de

Richter de 7 grados; 3) Pisco (2007) con una magnitud 7 grados en la escala de Richter, este último tuvo las características de sismo moderado. (Santana, 2012)

El Instituto Geofísico del Perú, de aquí en adelante IGP, (2019) en su Reporte de los últimos sismos, ha señalado que el mes de mayo (2019) hubo 71 sismos reportados, entre ellos el de mayor magnitud en la escala de Richter de 8 grados siendo el epicentro en Yurimaguas; generando daños en algunas zonas del departamento de Cajamarca, el cual está situado en la zona nor-oeste del Perú, con zona sísmica 02 y 03, considerada una zona de alta sismicidad. (Vivienda, 2019)

En nuestro país, cada estructura está clasificada de acuerdo a categorías de importancia, tanto las viviendas, oficinas y hoteles se encuentran en la clasificación C (edificaciones comunes), mostrando un factor  $U=1,0$ . (Vivienda, 2019)

En el censo del 2017 se mostró, que más del 50% de estructuras en Cajamarca, sobrepasan los 4 pisos construidos. (INEI, 2017) Mostrando de esta manera, la importancia que tienen este tipo de edificaciones y el por qué debemos de enfocarnos en el sistema de aislamiento más adecuado para la zona; exponiendo como referencia las investigaciones ya realizadas sobre este tema.

Allauca (2006) y Ramírez (2014), en sus respectivas tesis, señalan que The Structural Engineers Association of California (SEAOC) en su propuesta de 1995, representa una condición tolerable establecida en función de los posibles daños físicos de la edificación, siendo estos: 1) niveles de amenaza sísmica, 2) niveles de comportamiento estructural y no estructural de las edificaciones, 3) sismos y comportamiento esperado,

4) objetivos de desempeño de edificaciones comunes. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de significación social (impacto en usuarios) y en términos técnicos (magnitud del deterioro, degradación de elementos estructurales, etc.).

Monge (2014), Sangolqui – En su tesis “Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de la primera y segunda generación”, analiza una estructura de 3 pisos con aislador FPS (Frictional Pendulum System), de primera y segunda generación. Teniendo como resultado que el FPS de segunda generación posee una capacidad mayor de desplazamiento. Explicando que, si el aislador FPS de la segunda generación posee el mismo coeficiente de fricción en sus superficies, el comportamiento de la curva de histéresis es lineal-rígido igual que otros sistemas de aislación tradicionales como el FPS de la primera generación. Además, indica que al diseñar el deslizador de los aisladores FPS de la primera y de segunda generación tiene suficiente capacidad de recuperación, señalando como única variación el diámetro de la placa esférica.

Vergara (2015), Quito – Ecuador, en su tesis “Estudio comparativo de aisladores sísmicos FPS de primera y segunda generación” concluye que el uso de aislador sísmico disminuye la rigidez del sistema estructural, además describe la relación que, a mayor coeficiente de fricción en el aislador, menor será el desplazamiento de la estructura, así como su periodo de vibración.

Luque (2016), en su investigación “Evaluación del desempeño estructural con sistemas de aislamiento de base para el edificio 15 niveles de la ciudad universitaria de Puno” el sistema estructural con aislación de la base, concluye que: el aislador FPS, aporta

mejores condiciones a la estructura por reducción considerable de los desplazamientos laterales en 1.95 veces en el sentido “X” y 1.61 veces en el sentido “Y”. Al igual que reduce las aceleraciones en los pisos en 1.93 veces en el sentido “X” y 4.10 veces en el sentido “Y”.

Chunque (2013), de su tesis “Nivel de desempeño sísmico del edificio A de la Universidad Privada del Norte – sede Cajamarca”, recalca que la edificación presenta una gran resistencia y buena ductilidad frente a cargas laterales. La estructura tiene la capacidad de desarrollar un 178% y 97% más de corte basal en las direcciones “X” y “Y” respectivamente.

Finalmente, Cango (2018), en su investigación “Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT”, concluye que el diseño del FPS de tercera generación permite controlar los parámetros de respuesta de desplazamiento y cortante basal.

En base a estos antecedentes, se analizó el comportamiento sísmico de un edificio con sistema de péndulo friccional (FPS), ya que nos permitirá proteger la estructura de los movimientos sísmicos sin ocasionar daños estructurales. Por tal motivo describiremos, en adelante, los conceptos necesarios para el desarrollo de la tesis.

El concepto de aislamiento sísmico ha sido desarrollado desde hace más de 100 años; sin embargo, desde hace 40 años se ha ido difundiendo para ser aplicado de forma práctica y sólo en los últimos 15 años su aplicación se ha ido incrementando de forma exponencial por el buen desempeño que presentaron los edificios aislados ante los

sismos; mostrando un cuadro comparativo de 3 normas utilizadas para la aislación sísmica (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

Tabla 1.

Comparativa de las normas, FEMA, UBC y Norma Chilena.

criterio	FEMA	UBC	NCH
<b>Uso del método estático</b>	Requisito, fija límites, no es para el diseño final.	Requisito, fija límites, no es para el diseño final.	Requisito, fija límites, no es para el diseño final.
<b>Por combinación espectral</b>	Solo estructuras regulares, no esenciales, y de altura menor.	No sugiere, pero se realizaría con 100% y 30%.	Se puede utilizar para el diseño final.
<b>Tiempo - Historia</b>	Mínimo de 3 pares con 100% y 30%.	Mínimo de 3 pares con 100% y 30%.	Mínimo de 3 pares con 100% y 30%.
<b>Mínima fuerza cortante basal</b>	1.5 de la activación del SA, viento, espectro con $T_A$ .	Sólo en comparación con el método estático.	1.5 de la activación del SA, viento, espectro con $T_A$ .
<b>Factor de reducción superestructura</b>	$3/8$ de $R_{est}$ , máximo 2.	Entre 1 y 2.	Entre 1 y 2.
<b>Tracción admisible</b>	No se admite.	(No especifica)	(No especifica)
<b>Control de deriva</b>	0.01 EST 0.015 CE 0.02 TH	0.01/R EST 0.015/R CE 0.02/R TH	0.002
<b>Evento Máximo Creíble</b>	Para comprobar desplazamientos y el SA.	Para comprobar desplazamientos y el SA.	Para comprobar el SA y realizar el ensayo de los aisladores.
<b>Rango sugerido para el TA</b>	(No especifica)	Entre 2 y 3 s.	Entre 2 y 3 s.
<b>Consideraciones enfatizadas</b>	Modelar cambio de propiedades, P - $\Delta$	(No especifica)	P - $\Delta$
<b>Legalidad</b>	(No especifica)	(No especifica)	Todos los aisladores deben estar certificados y haber sido ensayados en el país.

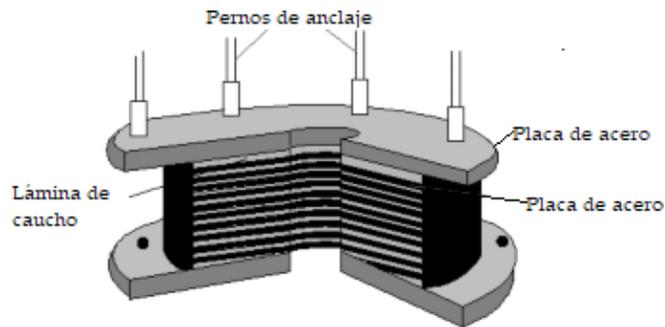
Fuente: Korswagen et al., (2012).

Los sistemas de control de vibraciones en edificaciones, se clasifican en sistemas híbridos, que es la combinación de sistemas activos y pasivos con la finalidad de incrementar la eficiencia y aumentar la fiabilidad de los sistemas. Sistemas activos, funcionan gracias a sensores que cuantifica las excitaciones externas y la respuesta dinámica de la estructura, mientras que los procesadores calculan las fuerzas de control necesarias para estabilizarla, la cual será generada por los transmisores de fuerza con el fin de contrarrestar los movimientos sísmicos. Y en cuanto a los sistemas pasivos, son aquellos que no reciben retroalimentación y no necesitan suministro de energía externa, y se clasifican en aisladores, disipadores de energía y osciladores de masas sintonizadas. (Martínez y Melgar, 2015)

Salazar (2010), en su investigación de “aisladores de base”, clasifica los sistemas de aislación dentro de dos tipos básicos, uno representado por los apoyos elastoméricos y el otro representado por los apoyos deslizantes. De aquí en adelante Salazar los describe de la siguiente manera:

Los apoyos elastoméricos, son de goma laminada compuesto por capas horizontales alternas de caucho sintético o natural unidas entre sí por un proceso de vulcanización. De tal manera la rigidez del apoyo es controlada por el espesor de las capas de goma, permitiéndole soportar mayores cargas verticales aplicando pequeñas deformaciones.

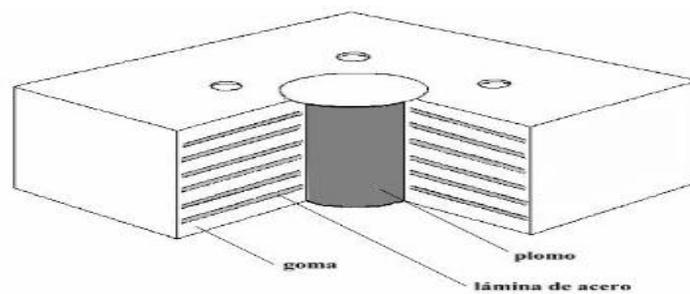
Figura 1. Aislador elastoméricos



Fuente: Salazar, 2010.

Al tener como material de amortiguamiento la goma, tiene la ventaja de absorber eficazmente la energía, resistir a grandes deformaciones. También se presentan con núcleo de plomo; esta combina en una unidad física el elemento flexible y el disipador de energía, ocasionando que el núcleo de plomo se deforme plásticamente en corte por las placas de acero, haciéndolo trabajar como un amortiguador de histéresis interno.

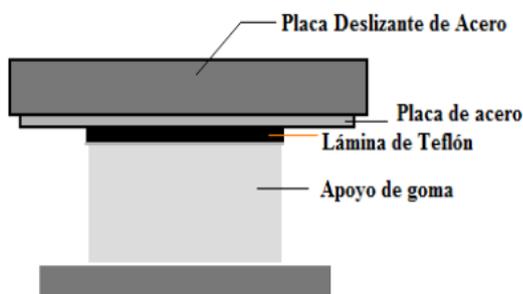
Figura 2. Partes del aislador elastoméricos con núcleo de plomo.



Fuente: Salazar, 2010

Por otro lado, los apoyos deslizadores EDF (Electricité de France), constan de dos placas una superior de acero inoxidable anclada a la estructura y otra placa inferior de teflón vulcanizada a un apoyo de goma. Diseñado para tener un coeficiente de fricción de 0.2 durante la vida útil del sistema de aislación basal.

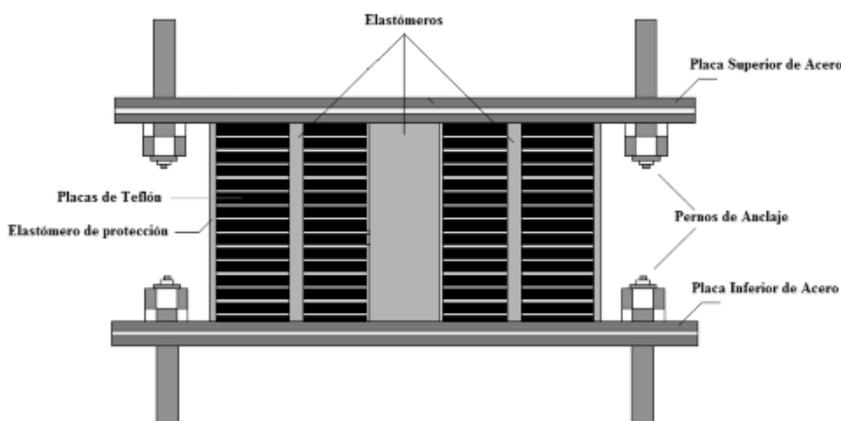
Figura 3. Partes del apoyo deslizador tipo EDF



Fuente: Salazar, 2010

Entre otros apoyos deslizadores tenemos a Elasto – Friccionante (R-FBI), que consta de varias placas de teflón en contacto entre sí, con la opción de deslizar, y un núcleo de goma o elastómero. La velocidad se reduce utilizando un apropiado número de placas deslizantes. La goma proporciona la elasticidad necesaria al sistema para recobrar la posición inicial después del sismo mientras la energía es disipada por rozamiento entre las placas.

Figura 4:Partes del apoyo deslizador tipo R-FBI.



Fuente: Salazar, 2010.

El aislamiento sísmico es una tecnología que consiste en colocar dispositivos lateralmente flexibles en la base de la edificación, de manera que el periodo de esta aumente y se aleje de las zonas de máximas aceleraciones del espectro sísmico de

diseño, consiguiendo así una reducción de la demanda sísmica en la estructura. En nuestro país, se han proyectado y construido varios edificios con esta tecnología, especialmente de uso educativo y de salud. Sin embargo, se han utilizado principalmente aisladores elastoméricos, dejándose de lado los del tipo deslizante, a pesar de que son bastante usados a nivel mundial. (Martínez y Melgar, 2015) Por este motivo se decide centrar esta investigación en el aislador de péndulo de fricción.

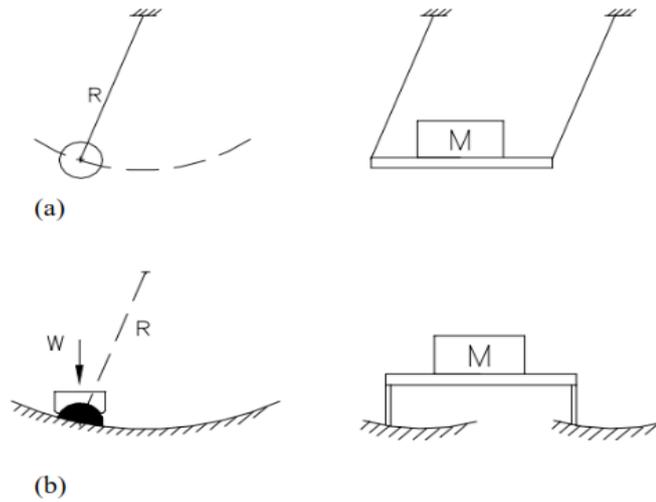
Aguiar, Morales, Guayguac & Rodríguez (2016), recalcan que *“Existen 3 tipos de aisladores de péndulo de fricción: primera generación, en la cual una superficie es cóncava y la otra es recta; la segunda generación tanto la placa inferior como la superior son cóncavas; y la tercera generación, corresponde al aislador, dentro de otro aislador”*.

*“En el caso de los aisladores FPS, existen tres tipos: simple péndulo, doble péndulo y triple péndulo de fricción (FPT). Todos bajo el mismo principio de funcionamiento, basados en el movimiento de un péndulo convencional. De los tres tipos de aisladores, el triple péndulo de fricción es el más reciente y el más utilizado debido a que posee múltiples ventajas respecto al simple y doble péndulo de fricción. Entre las ventajas están: la reducción de las dimensiones en planta (diseño más compacto) y la posibilidad de ser diseñado para diferentes objetivos de desempeño sísmico.”* (Fenz y Constantinou, 2008) citado por (Cango, 2018)

Cango (2018), dice que los aisladores FPS obtienen la aislación sísmica debido a su configuración geométrica; la cual permite liberar y concentrar las deformaciones producidas por el sismo, esto se da cuando el deslizador se activa y se mueve sobre

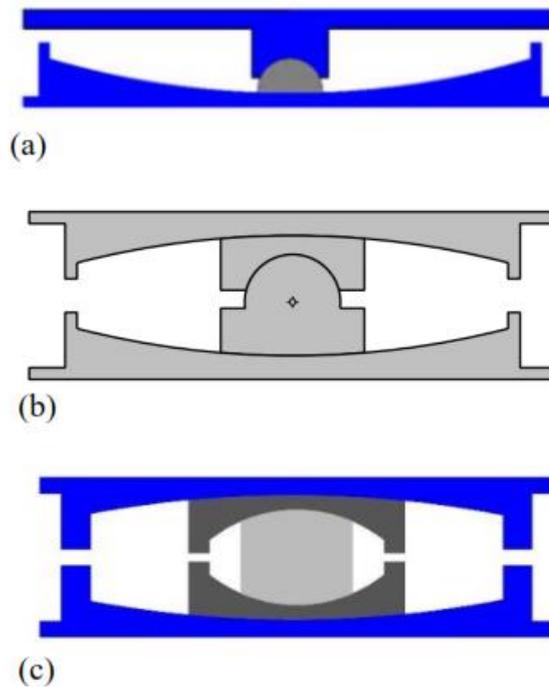
una superficie cóncava, dicho movimiento se asemeja al movimiento de una masa suspendida.

Figura 5. Principio de funcionamiento de aisladores FPS a) péndulo convencional y b) péndulo de fricción.



Fuente: Cango, 2018.

Figura 6. Tipos de aisladores FPS, a) simple, b) doble y c) triple péndulo de fricción.



Fuente: Fenz y Constantinou, 2008. Citado por Cango, 2018

“Las articulaciones de los deslizadores (evidentes en el simple y doble péndulo de fricción), tienen la función de mantener la edificación en posición vertical y de distribuir uniformemente la presión provocada por las cargas”. (Constantinou, 2004)

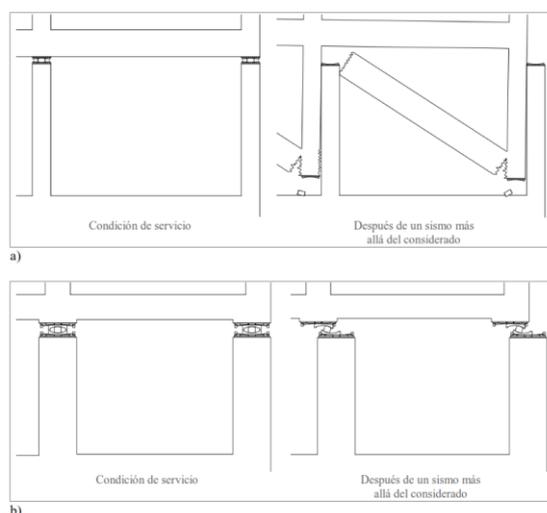
“En el caso del aislador de triple péndulo, el ensamble de las tres partes internas (dos placas internas y el deslizador rígido), hace las veces de articulación, esto debido a las rotaciones relativas entre ellos. En la figura 7 se muestra un aislador de simple péndulo (similar para el doble y triple) con y sin articulación, el cual demuestra claramente la importancia de la articulación”. (Cango, 2018)

Figura 7. Función de la articulación en aisladores FPS.



Fuente: Amaral y Guerreiro, 2014. Citado por Cango, 2018.

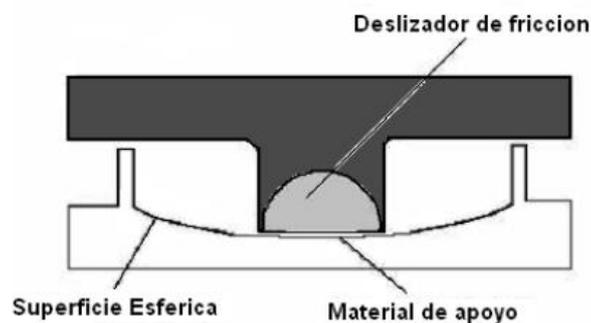
Figura 8. Importancia del anillo de retención en aisladores FPS. a) sin anillo b) con anillo.



Fuente: Zayas et al., 2016. Citado por Cango, 2018.

Salazar (2010), continúa explicando que los apoyos FPS (Sistema de Péndulo Friccional), se encuentran dentro de los sistemas deslizantes. Básicamente es un cursor articulado sobre una superficie de acero inoxidable esférica, revestido como un material compuesto de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (de 5 a 7% aprox.).

Figura 9. Esquema de aislador FPS.

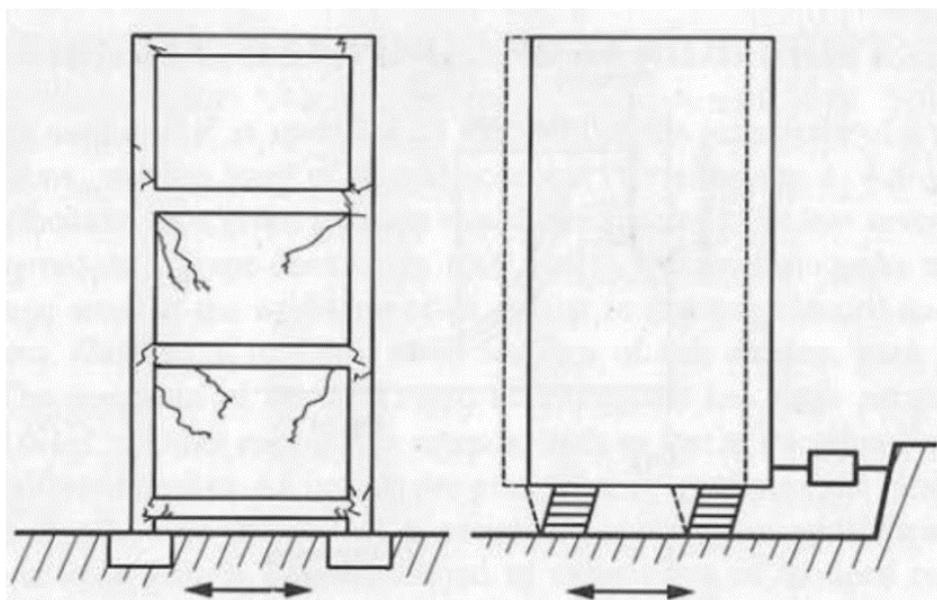


Fuente: Salazar, 2010.

“El apoyo FPS es activado sólo cuando la fuerza de corte, debida a las fuerzas sísmicas, supera la fuerza de fricción estática. Una vez en movimiento, el cursor articulado se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada, con movimientos equivalentes a la de un péndulo simple. Los resultados de aislación basal deseados se alcanzan por la geometría del apoyo y la gravedad.”  
(Salazar, 2010)

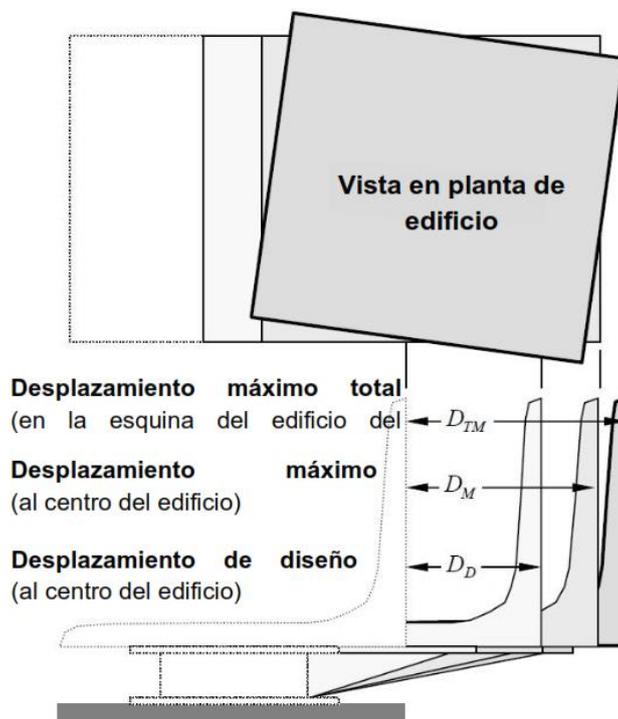
En la figura 10 se muestra que en el primer caso las deformaciones producidas por el sismo se distribuyen en los elementos estructurales del edificio que son los que disipan la energía, mientras que, en el segundo caso las deformaciones se concentran en el sistema de aislación el cual a su vez se encargan de disipar energía. Es decir que aumenta su periodo de vibración de la estructura y del amortiguamiento. (Cango, 2018)

Figura 10. Respuesta sísmica de una estructura convencional y una con aislación sísmica.



Fuente: Skinner, 1993. Citado por Cango, 2018.

Figura 11. Desplazamientos máximos.



Fuente: adaptado de ASCE, 2016.

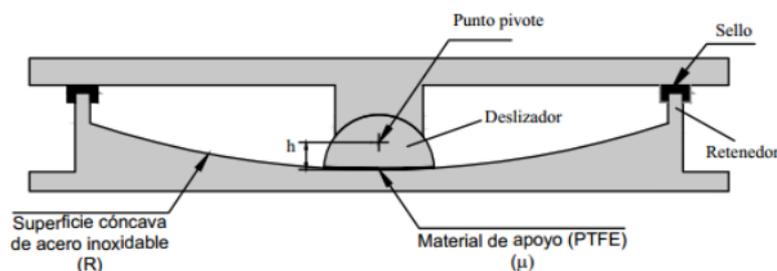
“Unidad de aislador: es un elemento que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y conforma el sistema de aislación el cual permite grandes deformaciones

*laterales, por ende, menores cargas sísmicas en el diseño. Un aislador se permite usar como parte de o en conjunto para soportar el peso de la estructura.” (Cango, 2019)*

Por seguridad y económicamente, se recomienda usar aisladores con una configuración estándar, que ya hayan sido usados y ensayados previamente. (Constantinou et al., 2011)

*“Los aisladores FPS de la primera y segunda generación son sistemas autocentrantes que funcionan bajo esfuerzos friccionantes, los cuales se utilizan en diferentes estructuras para controlar los desplazamientos que se generan por la acción de una fuerza dinámica externa, con una reducción significativa de los daños en la estructura, se consideran algunos parámetros geométricos como el desplazamiento nominal  $d$ , la diferencia de altura  $h$  entre el punto pivote del cojinete, y la superficie deslizante, así como el radio de curvatura  $R$  de las placas exteriores y por último los coeficientes de fricción  $\mu$ .” (Monge, 2014)*

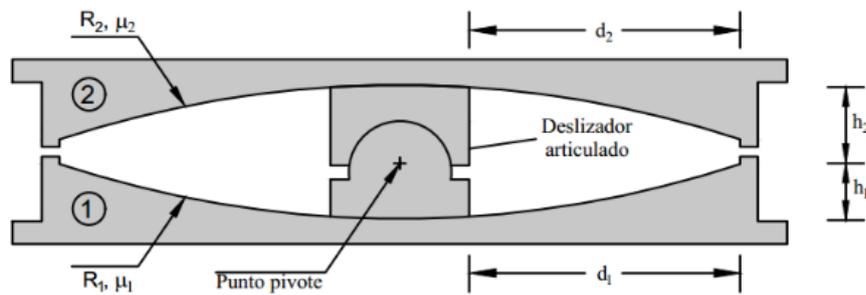
Figura 12. Aisladores FPS de primera generación.



Fuente: adaptado de Monge, 2014

A diferencia del FPS de primera generación, este sistema de segunda generación presenta dos superficies cóncavas en las que el deslizador superior e inferior podrá moverse, lo cual, permite que el desplazamiento máximo del aislador sea mayor al del sistema FPS. (Korswagen et al., 2012)

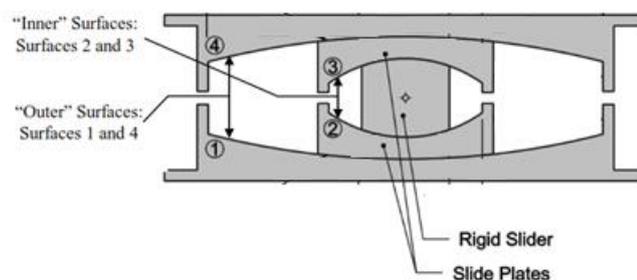
Figura 13. Aisladores FPS de segunda generación.



Fuente: adaptado de Monge, 2014.

Cango (2018), explica que, para los FPS de tercera generación, triple péndulo de fricción (FPT), las propiedades principales que se deben tener en este aislador son, los radios de curvatura y coeficientes de fricción, adicionando que el tamaño del aislador tiene mucho que ver en la capacidad del desplazamiento. Consta de un deslizador rígido y de cuatro placas con superficies cóncavas. Se tiene que considerar que el FPS de tercera generación diseñado, tenga simetría con respecto a un plano horizontal que pasa por el centro del deslizador rígido.

Figura 14: Partes del FPS de tercera generación.



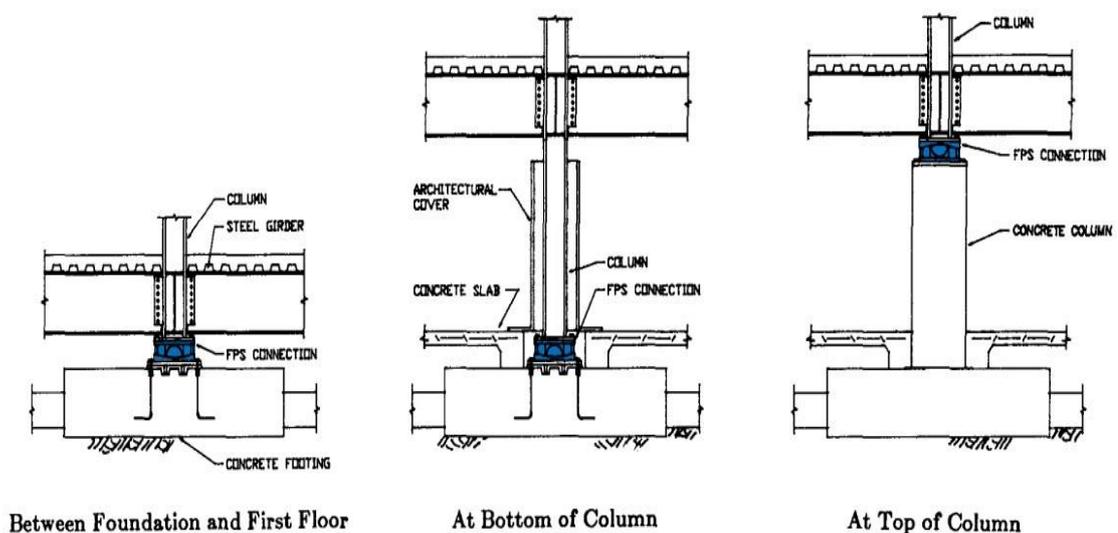
Fuente: adaptado de Monge, 2014.

Teóricamente ubicamos el punto pivote en el centro del ensamblaje articulado (placa 2, placa 3 y el deslizador rígido). Este triple péndulo de aislación genera 12 propiedades geométricas y 4 propiedades mecánicas, sin embargo, en diseños ingenieriles aplican solamente la “configuración estándar”. (Cango, 2018)

Cango (2018), citando a Zayas y Mahin (2010) propone seguir el siguiente procedimiento para llegar al diseño final de aisladores FPS de tercera generación:

- **Establecer los objetivos de diseño:** criterios para el diseño del FPS; basados en el uso, el desempeño y las características del edificio.
- **Establecer la ubicación de aisladores:** disposición en planta y elevación de los FPS, según la interfaz de asilación como muestra la figura, siendo el primer caso, la interfaz se ubica entre la cimentación y la losa del primer piso; en el segundo caso, la interfaz se ubica debajo de las columnas; y en el tercer caso, la interfaz de asilación se ubica en la parte superior de las columnas.

Figura 15. Ubicación de la interfaz de asilación en estructuras con aisladores FPS



Fuente: modificado de Cango, 2018.

Figura 16: Instalación de FPT en la parte superior de la columna. No hay necesidad de piso técnico para los aisladores.



Fuente: Zayas, 2016.

*Figura 17:* interfaz de aislación ubicado entre la cimentación y la losa del primer piso.



Fuente: Cango, 2018.

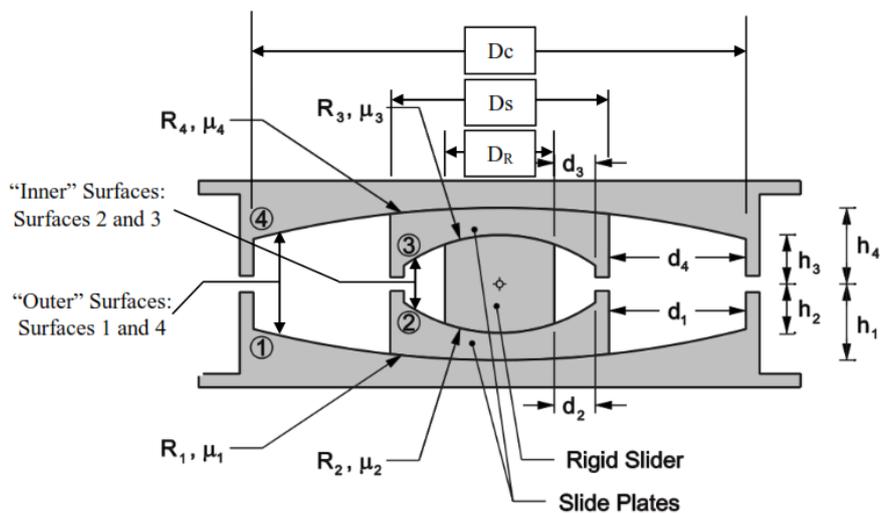
*Figura 18:* Partes del aislador de triple péndulo.



Fuente: Zayas, 2016.

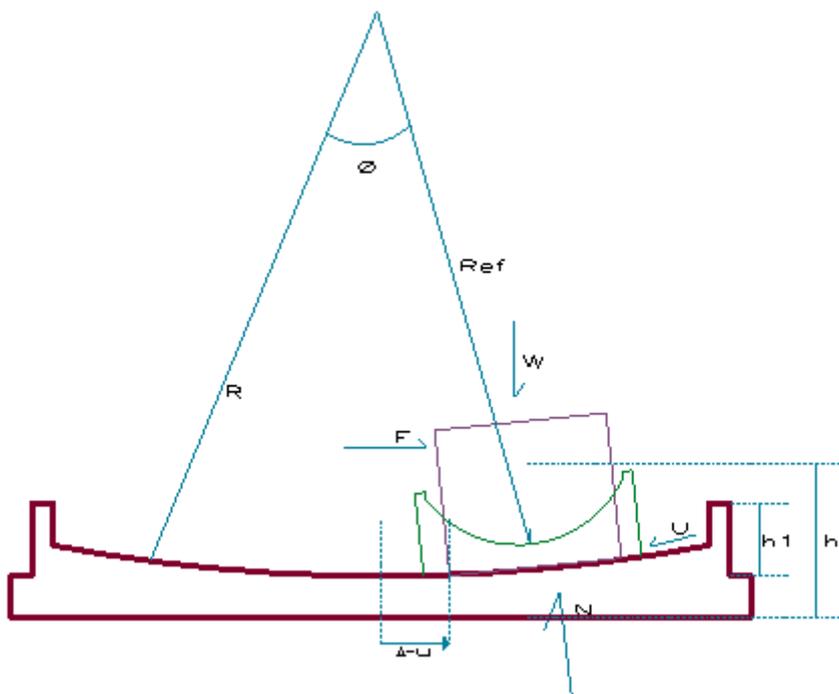
- **Realizar un diseño preliminar:** Pre – dimensionamiento de las propiedades del aislador. Teniendo en consideración que la estructura aislada se representa usando como modo simplificado un grado de libertad , ignorando la flexibilidad de la superestructura y concentra la deformación en el sistema de aislación; es decir que equivale a que la superestructura se mueve como un cuerpo rígido. Y en este caso por tener 1 grado de libertad el peso de la estructura equivale a 1 kip, dato necesario para hacer el diseño preliminar, ya que el periodo es independiente a la masa soportada.

Figura 19. Partes principales y nomenclatura del FPS de 3° generación.



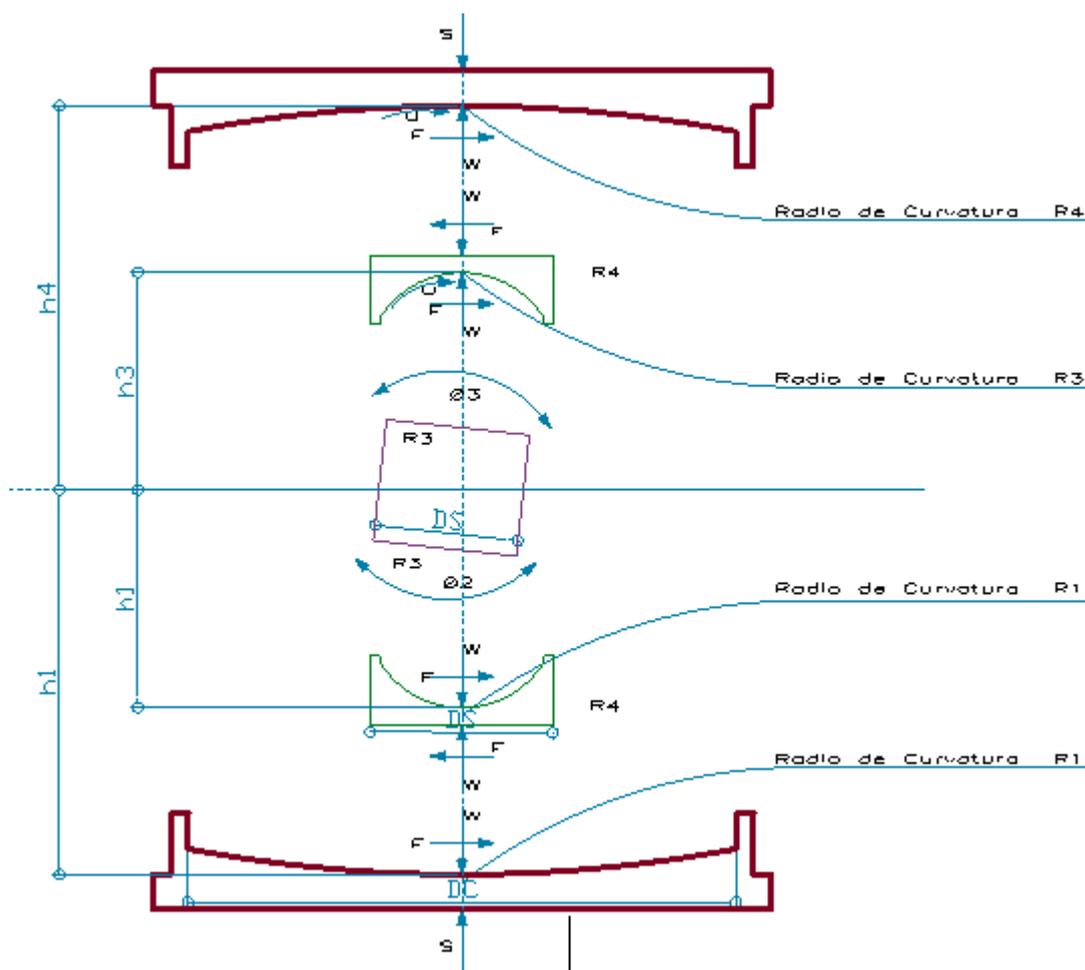
Fuente: Cango, 2018.

Figura 20: Fase I del aislador FPS 3° generación a) posición deformada b) diagrama de cuerpo libre.



Fuente: Fenz y Constantinou, 2008.

Figure 21: diagrama de cuerpos libre de FPS.



Donde:

- R : Radio de curvatura de superficie cóncava. (figura 21)
- h : Altura de la base del deslizador al punto de pivote. (figura 21)
- R<sub>ef</sub> : Radio de curvatura efectivo de la superficie cóncava, R<sub>ef</sub> = R-h (figura 21)
- θ : Angulo de rotación del deslizador. (figura 20)
- W : Carga sobre el aislador.
- F : Fuerza horizontal (fuerza sísmica).
- N : Fuerza normal. (figura 20)
- Δ-u : Desplazamiento horizontal
- μ : Coeficiente de fricción

Se cumple que R > u (Radio de curvatura mayor que desplazamiento)

Del diagrama de cuerpo libre (placa 3) figura 20,

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & \rightarrow F_{f2} \cdot \cos\theta_2 + S_2 \cdot \text{sen}\theta_2 - F_{f1} = 0 \\ \sum F_y = 0 & \rightarrow S_2 + F_{f2} \cdot \text{sen}\theta_2 - S_2 \cdot \cos\theta_2 = 0 \end{aligned}$$

Ecuación 1: Diagrama de cuerpo libre, placa 3.

Por geometría,

$$u_2 = R_{ef2} * \text{sen}\theta_2$$

*Ecuación 2: Desplazamiento del péndulo.*

Del diagrama de cuerpo libre (placa 4)

$$F = F_{f1}$$

$$W = S_1$$

*Ecuación 3: Diagrama de cuerpo libre, placa 4.*

Del diagrama de cuerpo libre (placa 2)

$$F = \frac{W}{R_{ef}}u + F_f$$

*Ecuación 4: Diagrama de cuerpo libre, placa 2.*

Del diagrama de cuerpo libre (placa 3)

$$F = \frac{W}{R_{ef}}u + F_f$$

*Ecuación 5: Diagrama de cuerpo libre, placa 3.*

Ya que en esta fase las placas 2 y 3 se dan en simultaneo:

$$u = u_2 + u_3$$

*Ecuación 6: Desplazamientos de las placas 2 y 3.*

El primer término de la ecuación 7, representa la fuerza de restauración por efecto de la gravedad y el segundo es la componente de disipación de energía, del péndulo en estado estático.

$$F = \frac{W}{R_{ef}}\mu + F_f$$

*Ecuación 7: Fuerzas en sistema aislador.*

Representamos la fuerza en una de las fases de movimiento del péndulo (tabla 2).

$$F = \frac{W}{R_{ef2} + R_{ef3}}u + \frac{F_{f2}R_{ef2} + F_{f3}R_{ef3}}{R_{ef2} + R_{ef3}}$$

*Ecuación 8: Ecuación general de fuerza en fase 1.*

En el sistema FPS la **rigidez lateral** de la ecuación 5 se puede igualar a:

$$k = \frac{F}{\Delta} = \frac{W}{R_{ef}}$$

*Ecuación 9: Rigidez lateral*

El periodo natural de una estructura aislada con el sistema FPS depende sólo del radio de curvatura R y no de la masa de la superestructura.

$$T = 2\pi\sqrt{(W/gk)} = 2\pi\sqrt{(R_{ef}/g)}$$

*Ecuación 10: Periodo natural*

- T : Periodo natural  
 R<sub>ef</sub> : Radio de curvatura efectivo de la superficie cóncava, R<sub>ef</sub> = R-h (figura 14; figura 12)  
 W : Carga sobre el aislador.  
 k : Rigidez lateral.

La ecuación 10 demuestra que el periodo de vibración lo podemos determinar solo eligiendo el R<sub>ef</sub> (radio de curvatura efectiva); es decir no depende del W (peso)

## PASO 1: DEFINIR LOS AISLADORES A ANALIZAR

Propiedades del FPS de tercera generación basadas en el manual de diseño sísmico 2012 IBC obtenido de SEAOC (2014), Cada aislador queda definido por las siguientes propiedades:

- Altura de los radios efectivos externos (h<sub>1</sub> = h<sub>4</sub>)
- Altura de los radios efectivos internos (h<sub>2</sub> = h<sub>3</sub>)

**Alturas (h<sub>i</sub>):**

$$7in \leq h_2 + h_3 \leq D_R \text{ cm}$$

*Ecuación 11: Relación de aspecto*

Donde:

D<sub>R</sub>: diámetro del deslizador rígido, no puede ser menor a 8”. (Constantinou et al, 2011)

$h_2$ : altura de la superficie cóncava interna al centro del deslizador rígido (figura 17)

$$D_R \geq \sqrt{\frac{4A_R}{\pi}} \text{ cm}$$

*Ecuación 12: Diámetro del deslizador rígido.*

Para calcular el diámetro del deslizador rígido, primero se calcula  $A_R$  (área del deslizador rígido)

$$A_R \geq \frac{P}{\sigma_{max}} \text{ cm}^2$$

*Ecuación 13: Área del deslizador rígido.*

$$P = \frac{1.7 * CV + 1.4 * CM}{\# \text{ de aisladores}} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

No puede ser menor que a 100.87in

*Ecuación 14: Carga promedio*

Donde:

$P$  : Carga promedio de la estructura  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$\sigma_{m\acute{a}x}$  : Esfuerzo máximo del sistema de aislamiento según el tipo de edificación (SEAOC,2014)

- El espesor de las placas 2 y 3 (se toma desde la base de la concavidad), debe ser al menos 1 in.
- El espesor de la placa 1 y 4 (se toma desde la base de la concavidad) de ser 2 in.
- El espesor de anillo de retención  $t_{r2,3}$  debe ser al menos 0.5 in.
- El espesor de anillo de retención  $t_{r1,4}$  debe ser al menos 1 in.
- La altura de anillo de retención  $ht_{r1,4}$  debe ser al menos 2.03 in.
- Altura de anillo de retención  $ht_{r2,3}$  debe ser 0.35 in.
- Separación mínima para placas 1 y 4 debe ser 2in.

- Separación mínima para placas 2 y 3 debe ser 1in.

$$h_1 + h_4 \geq h_2 + h_3 + 5.08cm$$

*Ecuación 15: Equivalencia de alturas*

- **Radio de curvatura (R<sub>i</sub>)**

Radio efectivo para cada superficie cóncava, se define como:

$$R_{efi} = R_i - h_i \quad (\text{para } i = 1, 2, 3 \text{ y } 4)$$

*Ecuación 16: Radio efectivo 3ra generación.*

R<sub>1</sub> = R<sub>4</sub>: iguales a los radios estándar (tabla 2). Al igual que las superficies cóncavas externas (D<sub>c</sub>), los cuales representan la capacidad de desplazamiento del aislador, se asumen 2 radios para determinar los límites máximos y mínimos de desplazamientos.

R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub>: recomendados de los radios efectivos presentados en el Manual (SEAOC, 2014). Los cuales son: 5.5, 12, 23 y 33 pulgadas. En cuanto a las superficies cóncavas internas D<sub>s</sub> (figura 19), fabricadas en el rango de 6 a 65 pulgadas.

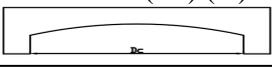
En donde:

$$R_{ef2} = R_{ef3} \ll R_{ef1} = R_{ef4}$$

*Ecuación 17: Equivalencias de radios*

Tabla 2.

Dimensiones estándar para placas cóncavas en aisladores FPS.

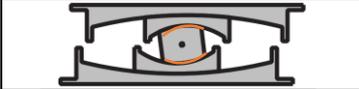
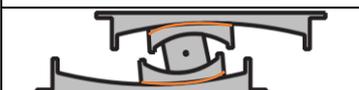
Id.	Radio de curvatura (R1=R4) (in)	Diámetro de las superficies cóncavas (Dc) (in)
		
1	61	14
2		18
3		22
4		31
5	88	36
6		27
7		31
8		33
9		36
10		39
11		41
12		44
13		46
14		51
15	56	
16	120	27
17		56
18	156	63
19		70
20		106
21		124
22	238	78
23		94
24		106
25		131
26		143

Fuente: Constantinou et al., 2011.

Siguiendo las condiciones iniciales ( $R_{ef2}=R_{ef3}$  y  $R_{ef1}=R_{ef4}$ ), el triple péndulo de fricción tiene V fases de desplazamiento (tabla 3). Basándose en la ecuación 9 de la rigidez lateral.

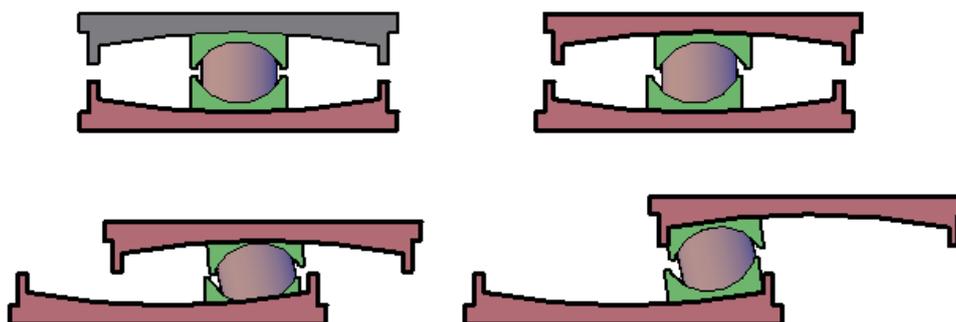
Tabla 3.

Fases de movimiento del aislador FPS de tercera generación.

GRÁFICO	FASE	SUPERFICIES ACTIVADAS	RIGIDEZ
	I	Deslizamiento en las superficies 2 y 3	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef3}}$
	II	Deslizamiento en las superficies 1 y 3	$\frac{W}{R_{ef1} + R_{ef3}}$
	III	Deslizamiento en las superficies 1 y 4	$\frac{W}{R_{ef1} + R_{ef4}}$
	IV	Deslizamiento en las superficies 2 y 4	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef4}}$
	V	Deslizamiento en las superficies 2 y 3	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef3}}$

Fuente: Cango, 2018.

Figura 21: Fases de desplazamientos.



Fuente: Zayas, 2016.

- **Coefficientes de fricción  $\mu_i$**

Los coeficientes de fricción se pueden desarrollar en el rango de 0.02 a 0.12, sin embargo, se debe tener en consideración con que rango los fabrican. Para las superficies cóncavas externas  $\mu_1 < \mu_4$ : se pueden usar rangos desde 3% a 10%. Para las superficies cóncavas internas  $\mu_2 = \mu_3$ : se pueden usar rangos desde 1% a 2%.

Coefficientes de fricción que actúan en las superficies externas:  $\mu_1 < \mu_4$

En donde:

$$\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4$$

*Ecuación 18: Equivalencia de coeficientes de fricción*

En los coeficientes de fricción de las superficies internas ( $\mu_2 = \mu_3$ ), se establece un valor constante e igual a 2%, esto debido a la poca influencia en los parámetros de respuesta que se quieren controlar (desplazamientos y cortantes basales)

## **PASO 2: ANÁLISIS SÍSMICO MÉTODO DE RESPUESTA ESPECTRAL (RSA)**

- Carga sobre el aislador (W): se asume  $W=1$  kip ( $453.59 \text{ kg/m}^2$ ) (solo para esta etapa), debido a que el comportamiento de los aisladores FPT no dependen del peso soportado.
- Radios de curvatura efectivos ( $R_{\text{efi}}$ ): establecidos en el paso 1.
- Coeficientes de fricción ( $\mu_i$ ): establecidos en el paso 1.
- Capacidades de desplazamiento ( $d_2=d_3$ ,  $d_1=d_4$ ), se determinan asumiendo valores, siendo relativamente grandes de tal manera garantizar que el aislador pueda deslizarse libremente entre las fases I, II y III, sin necesidad de llegar a las IV y V.

*Nota: se recomienda trabajar con múltiples NLRHA (método de análisis no lineal tiempo historia) de la zona, en el software OpenSees, para obtener los límites mas cercanos. En el anexo 2 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos.*

## **PASO 3: SELECCIÓN DEL AISLADOR**

En este punto es necesario comprobar que el aislador elegido tiene la suficiente capacidad de restitución, ya que es controlada por el radio de curvatura y el coeficiente de fricción. La fuerza de restitución de un sistema de aislación sea al menos  $0.025W$ . La fuerza de restitución se define como la diferencia entre la fuerza horizontal correspondiente al 100% del desplazamiento máximo ( $D_M$ ) la fuerza horizontal correspondiente al 50% del desplazamiento máximo ( $0.5D_M$ ), para el ejemplo se usarán los datos del anexo 2. Al cumplir con este requisito, se está evitando que se produzcan

desplazamientos permanentes en el sistema de aislación ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

Entonces, a mayor radio de curvatura, menor será la fuerza de restitución. Y a mayor coeficiente de fricción menor es el desplazamiento.

#### PASO 4: CAPACIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Para el desplazamiento de las placas internas ( $d_2 = d_3$ ), tenemos:

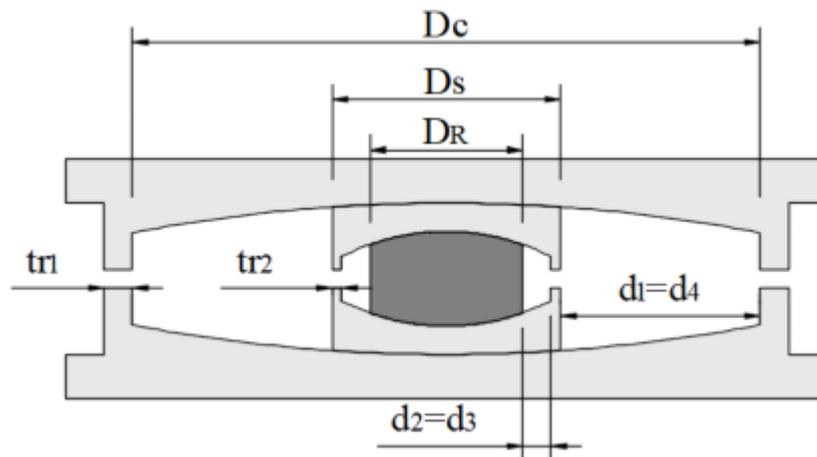
$$d_2 > (\mu_1 - \mu_2) R_{ef2}$$

$$d_3 > (\mu_4 - \mu_3) R_{ef3}$$

$$d_2 = d_3 = 10 \text{ in}$$

$$d_1 = d_4 = 50 \text{ in}$$

Figura 22: Nomenclatura del aislador FPT para calcular el tamaño del aislador



Fuente: Cango, 2018.

El diámetro de las placas internas ( $D_s$ )

$$D_s = D_R + 2t_{r2} + d_2 + d_3$$

*Ecuación 19: Diámetro de placas internas.*

$2t_{r2}$ : el espesor del anillo de retención de la placa dos es igual al de la placa 3.

El diámetro de las placas externas ( $D_c$ )

$$D_c = D_s + d_1 + d_4$$

*Ecuación 20: Diámetro de placas internas.*

- **Contactar con el fabricante:** Para que el fabricante provea de información de un aislador con similares o menores características que el determinado en el diseño preliminar. A nivel mundial, la única empresa certificada para la creación de estos sistemas de aislamientos es Earthquake Protection System - California. Dicha empresa utiliza la siguiente nomenclatura para identificar los aisladores.

$$“FPT R_o D_c / D_s - R_i / D_R - hR”$$

donde:

$R_o$ : Radio de curvatura de las superficies externas ( $R1 = R4$ )

$D_c$ : Diámetro de las superficies cóncavas externas (figura 23)

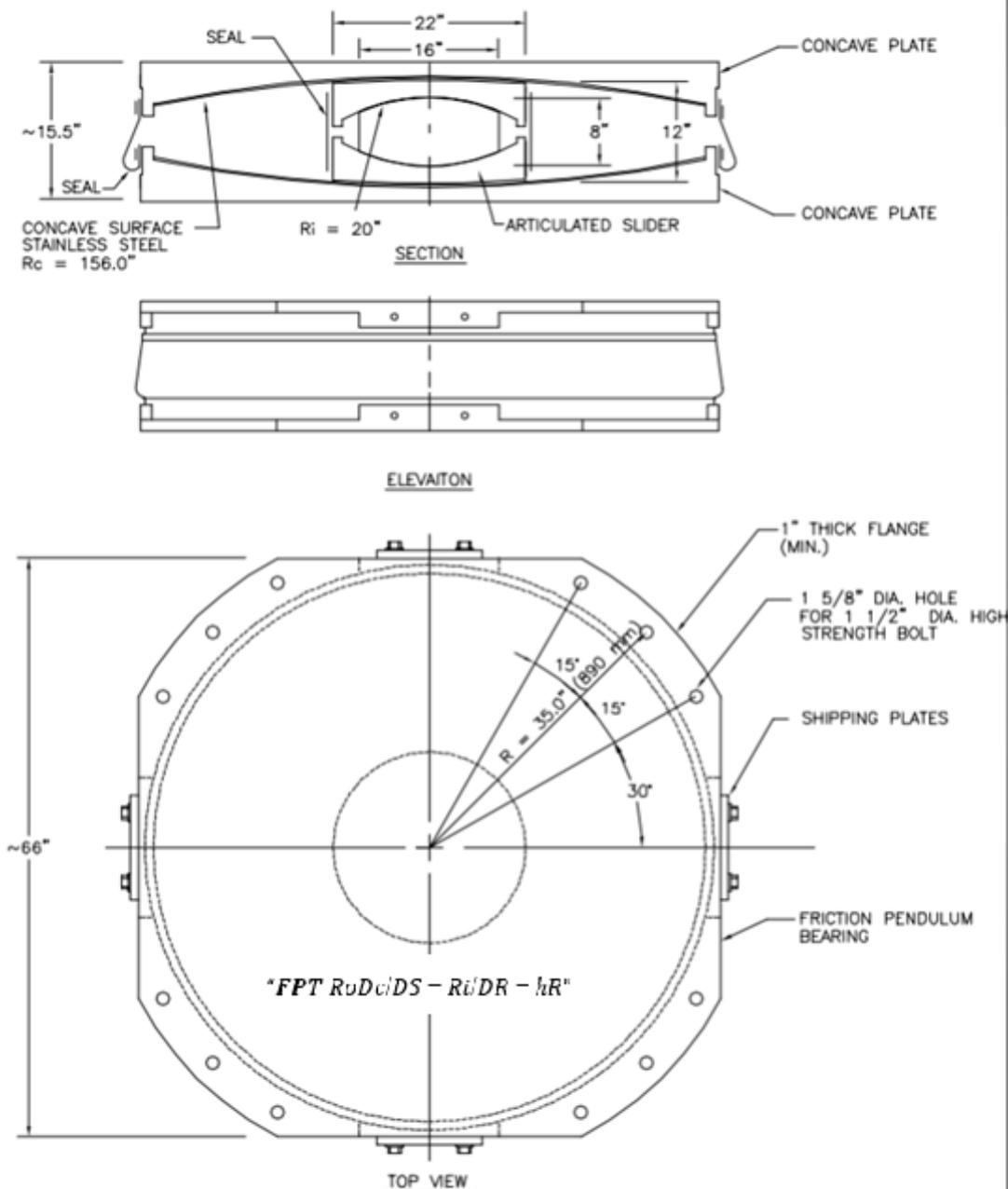
$D_s$ : Diámetro del aislador interno (figura 23)

$R_i$ : Radio de curvatura de las superficies internas ( $R2 = R3$ )

$D_R$ : Diámetro del deslizador rígido (figura 23)

$hR$ : Altura del deslizador rígido ( $2h2 = 2h3$ )

Figura 23: ejemplo de aislador con nomenclatura.



Fuente: Zayas et al., 2016.

- **Realizar el análisis sísmico de la estructura con el aislador elegido:** Determinando los desplazamientos y cortantes basales en el sistema de aislación.
- **Verificación del aislador elegido:** Verificar que todos los aisladores tengan: capacidad de desplazamiento, resistencia axial y resistencia cortante, caso contrario, se debe elegir otro aislador que cumpla con estos requerimientos.

## 1.2. Formulación del problema

¿En cuánto varía el comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulo de fricción?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento sísmico de una edificación incorporando aisladores de péndulos de fricción.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la deformación lateral y fuerza en las bases sin aisladores de péndulo de fricción.
- Determinar la deformación lateral y fuerza en las bases con aisladores de péndulo de fricción.
- Comparar el comportamiento sísmico de una edificación con aisladores de péndulo de fricción y sin péndulo de fricción.

## 1.4. Hipótesis

El comportamiento sísmico de una edificación varía hasta en un 30% en cuanto a la deformación lateral y la fuerza en las bases, con aisladores de péndulos de fricción.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo no experimental, transversal y descriptiva ya que determina el comportamiento del edificio con aislador sísmico (triple péndulo de fricción) con respecto al edificio convencional.

### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

Una edificación de 5 pisos aparcado, construida en la provincia de Cajamarca.

#### 2.2.2. Muestra

La muestra se seleccionó realizando un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, será un edificio de cinco niveles, Hotel “Los Pílancones” del cual se analizará el comportamiento sísmico considerando aisladores de péndulos de fricción. Con coordenadas UTM (773571.56 E, 9208854.073 N).

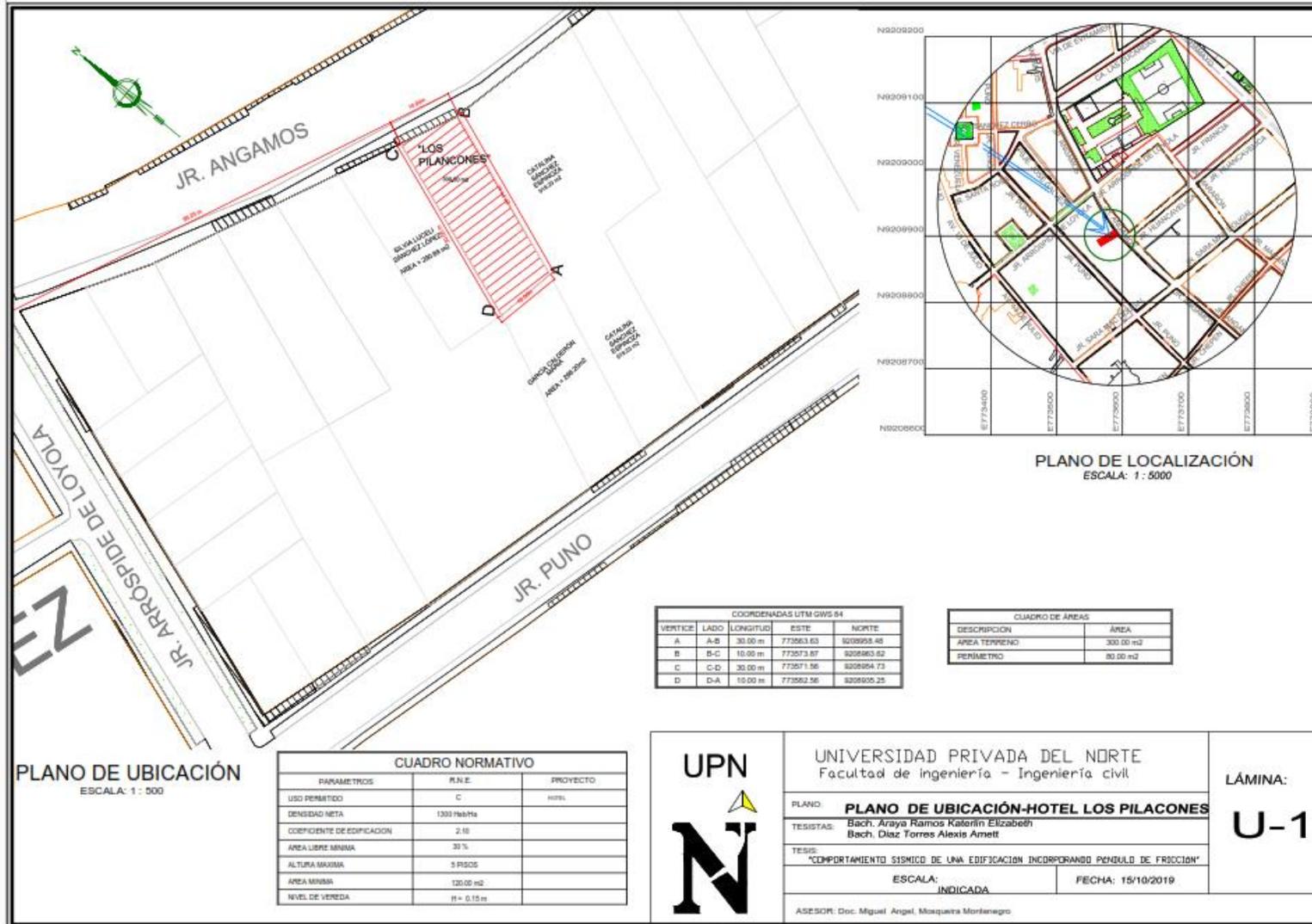


Figura 24: Plano de ubicación de la edificación modelada (ANEXO 3)

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnicas de recolección de datos**

Para la recolección de datos, se hizo una observación directa, ya que visitamos la construcción, revisar anexo 10.

### **2.3.2. Instrumentos de análisis de datos**

En la investigación denominada “Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulo de fricción”, para el análisis de datos se utiliza hojas Excel y el software Etabs, revisar anexo 11.

## **2.4. Procedimiento**

El procedimiento y desarrollo se realizan en base a los planos de un edificio de cinco niveles, “Los Pilancones”, ubicado en la provincia de Cajamarca, del cual se analizará el comportamiento sísmico considerando aisladores de péndulos de fricción de tercera generación. El tipo de suelo de la edificación es de clasificación intermedia, con una capacidad portante de  $0.85 \text{ kg/cm}^2$  en base a los planos de cimentación **obtenidos**; mencionamos que no se realizó estudio de suelos porque al ser una edificación ya construida se requieren 3 análisis, tales como SPT, refracción sísmica y corte directo; los cuales no se realizan en Cajamarca y tienen un elevado costo, convirtiéndola en nuestra única limitación. Sin embargo, en el ANEXO 9, presentamos el estudio de suelos de una edificación ubicada a 30m de la estructura en mención, donde especifica que el tipo de suelo de la zona tiene aproximadamente  $0.81 \text{ kg/cm}^2$  de presión admisible.

**2.4.1.** Una vez obtenidos los planos, se determina las características del edificio. Siendo de 5 niveles, cuenta con dos ingresos, tanto por la recepción como por la cochera, tiene un ascensor y la altura de piso a techo es de 3.06 m para todos los niveles más una altura de 1.66 m de parapeto de la azotea. Área del edificio: 300m<sup>2</sup>.

Tabla 4:

Ambientes del edificio a analizar.

NIVEL	AMBIENTE	CANT.	AREA (m <sup>2</sup> )
1° NIVEL	Recepción	1	16.00
	Baño	1	2.68
	Sala de star	1	26.71
	Pasadizos	1	10.20
	Hall	1	22.48
	Cochera	1	186.13
2°, 3°, 4° Y 5° NIVEL	Habitación 01	1	17.08
	Baño 01	1	4.57
	Habitación 02	1	19.37
	Baño 02	1	4.57
	Habitación 03	1	19.12
	Baño 03	1	4.57
	Habitación 04	1	17.08
	Baño 04	1	4.57
	Habitación 05	1	19.37
	Baño 05	1	5.27
	Habitación 06	1	19.37
	Baño 06	1	4.57
	Pasadizos	1	16.35
	Hall	1	22.48
AZOTEA	Azotea	1	110.38
	Lavandería	1	12.60
	Tendedero	1	34.36
	Hall	1	22.48

2.4.2. Establecer los objetivos de diseño: la edificación por ser un hotel, se encuentra en la clasificación C, cuenta con un sistema aportricado de 5 pisos y azotea. La edificación se encuentra subdividida en tres módulos con el fin de analizarlos independientemente con respecto a su comportamiento sísmico, sin embargo, para el diseño del péndulo, se considera el peso total de la estructura. Cabe resaltar que el módulo 2 sufre una irregularidad por altura, ya que, para la azotea, el único ambiente techado es la escalera.

Altura entre piso = 3.06m

Altura total = 18.36m

Dimensiones en planta,

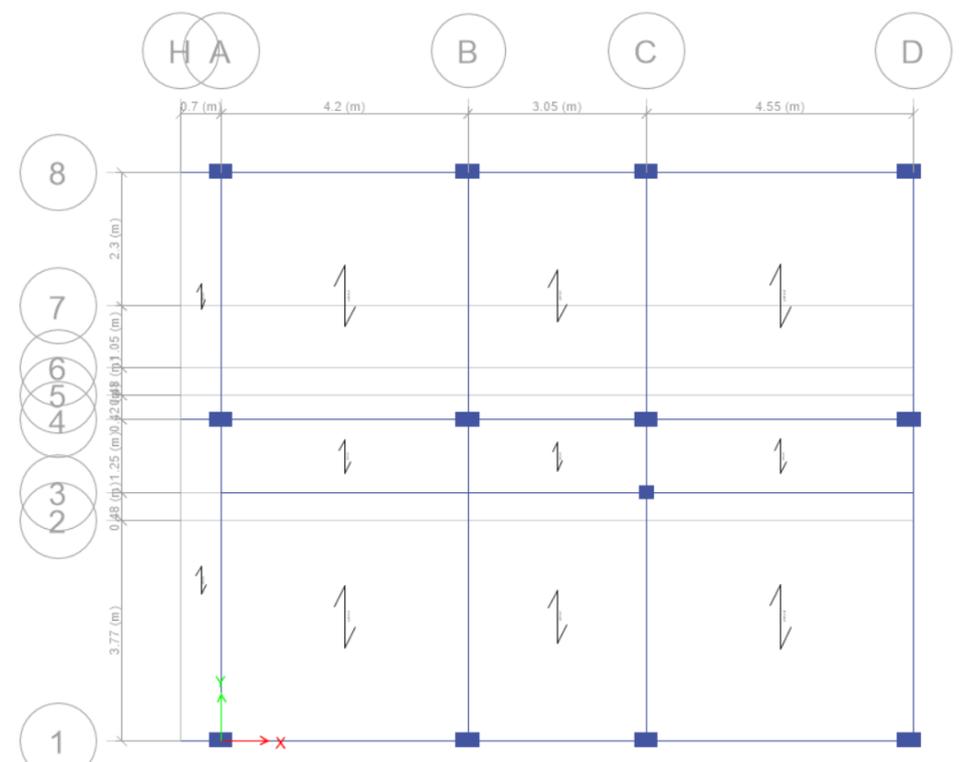


Figura 25: Planta típica del módulo 1 = 10x12.55m<sup>2</sup>

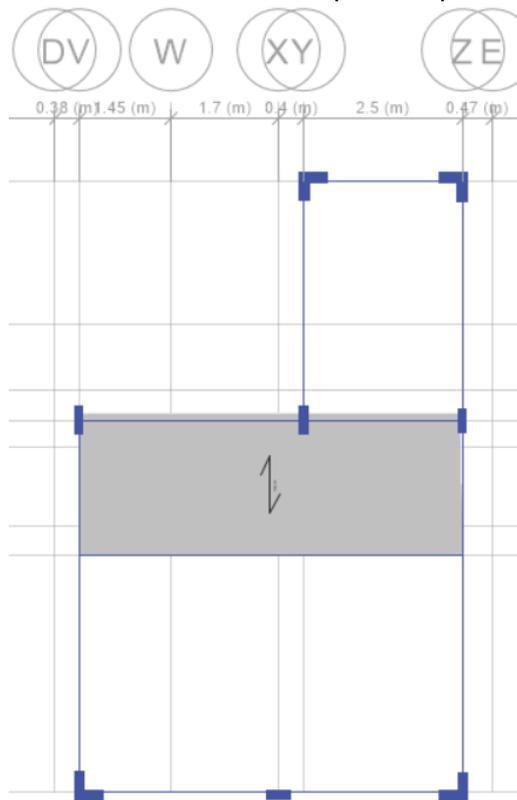


Figura 26: Planta típica del módulo 2 = 10x7.2m<sup>2</sup>

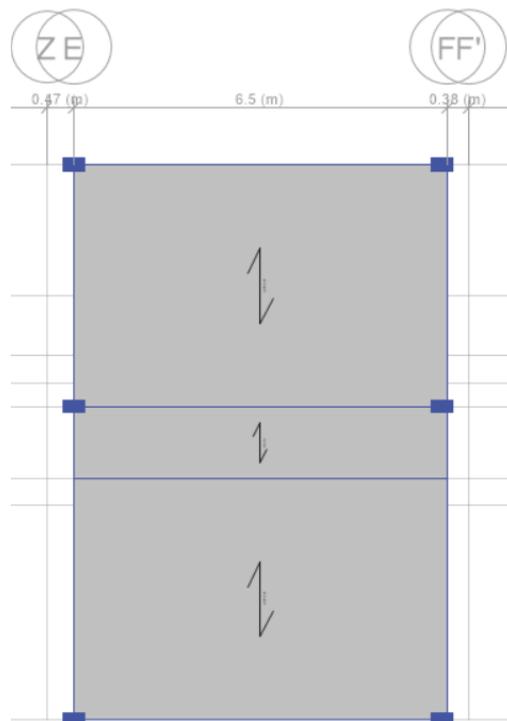


Figura 27: Planta típica del módulo 3 = 10x6.9m<sup>2</sup>

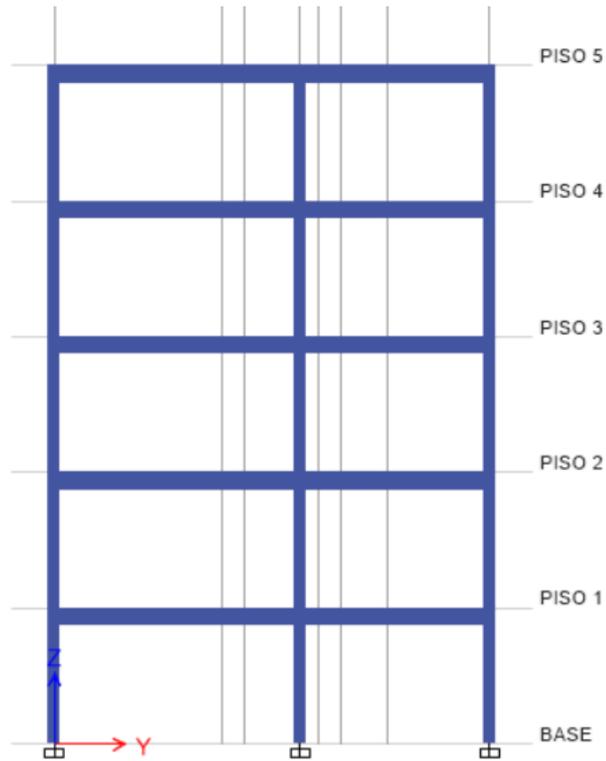


Figura 28: Elevación típica del módulo 1.

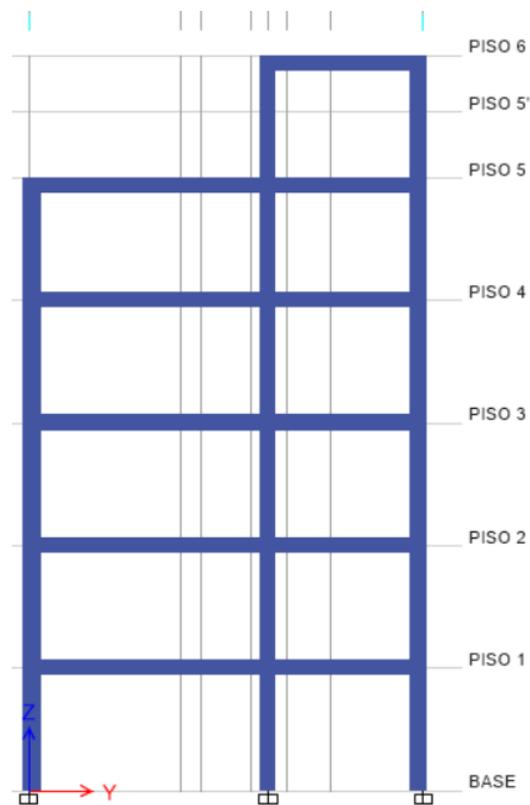


Figura 29: Elevación típica del módulo 2.

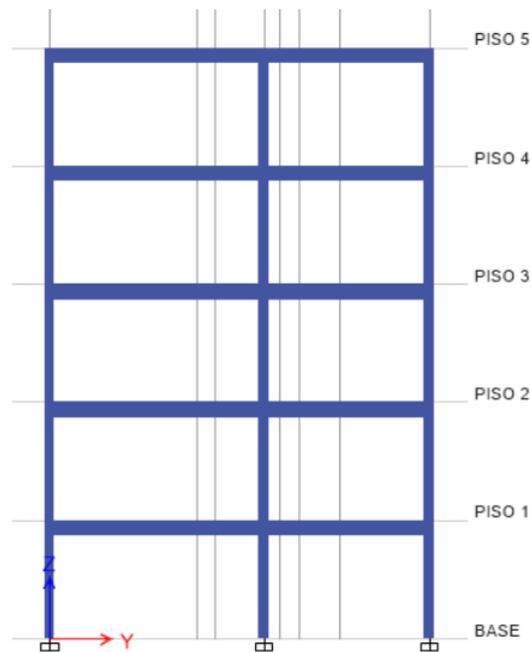


Figura 30: Elevación típica del módulo 3.

Se determinan las cargas a colocar dentro de la edificación según la norma técnica E.020.

- **Metrado de cargas para hoteles.**

Cuartos	: 200 kg/m <sup>2</sup>
Almacenaje y servicio	: 500 kg/m <sup>2</sup>
Salas públicas	: según lugares de asambleas (400 kg/m <sup>2</sup> )
Corredores y escaleras	: 400 kg/m <sup>2</sup>
Baños	: igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 300 kg/m <sup>2</sup>
Garajes	: para parqueo exclusivo de vehículos de pasajeros, con altura de entrada menor que 2.40m es de 250 kg/m <sup>2</sup>

$$\text{CARGA VIVA} = 2050 \text{ kg/m}^2$$

Peso Propio de Losa	:	300.00	kg/m <sup>2</sup>
Piso Terminado	:	100.00	kg/m <sup>2</sup>
Tabiquería fija	:	100.00	kg/m <sup>2</sup>
CARGA MUERTA = 500 kg/m <sup>2</sup>			

Se determinan las características de materiales y el predimensionamiento obtenidas de la norma técnica E.060.

- **Características de los materiales**

**Concreto:**

Resistencia a la compresión	:	$f^{\prime}c$ : 210 kg/cm <sup>2</sup> .
Peso por unidad de volumen	:	$\gamma$ = 2400 kg/m <sup>3</sup> .
Módulo de elasticidad	:	$E_c$ =217370.65 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de poisson	:	$\nu$ =0.2

**Acero de refuerzo:**

Esfuerzo de fluencia	:	$f^{\prime}y$ =4200.00 kg/cm <sup>2</sup> .
Módulo de elasticidad	:	$E_s$ =2.0x10 <sup>7</sup> Tn/m <sup>2</sup> .
Peso por unidad de volumen	:	$\gamma$ = 7800 kg/m <sup>3</sup> .

- **Elementos estructurales del edificio**

**Columnas C1**

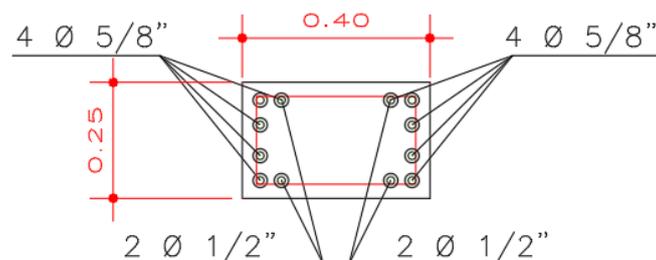


Figura 31. Columna C1 de 40 x 25 cm.

### Columnas C2

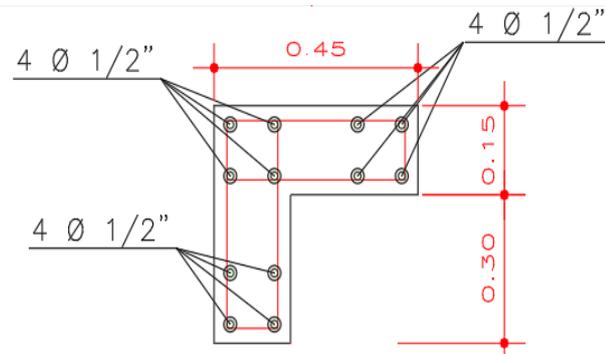


Figura 32: Columna C2 en L.

### Columnas C4

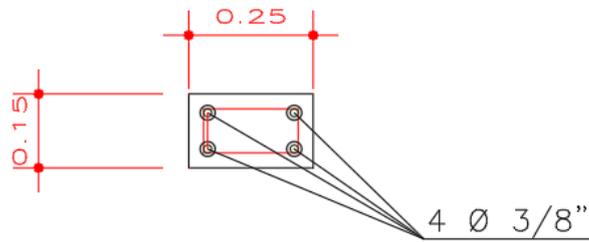


Figura 33: Columna C4 en 25x25 cm

### Columnas C3

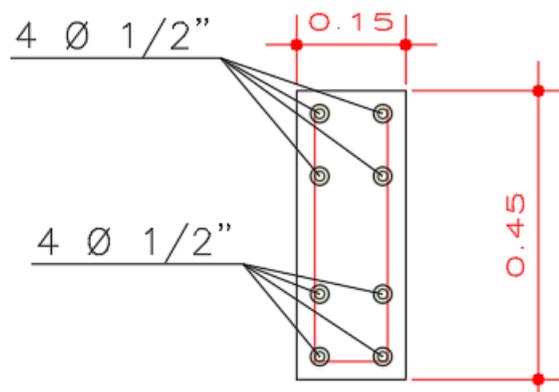


Figura 34. Columna C3 en 15x45 cm

### Viga 101

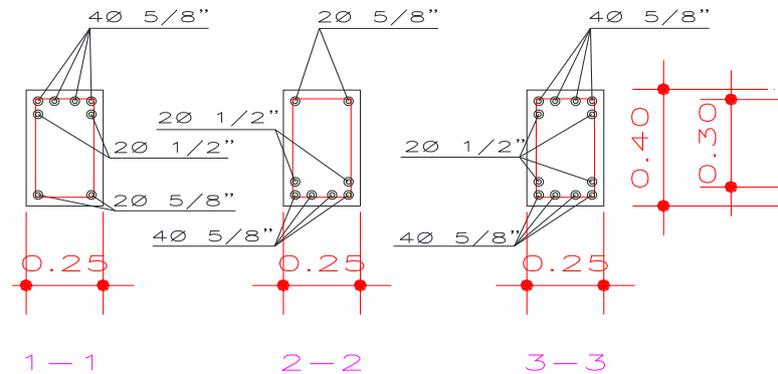


Figura 35. Sección de viga 101 40x25 cm

- **Peligro sísmico (ANEXO 1)**

**2.4.3.** Diseño del aislador triple péndulo e idealización de la estructura con el Software Etabs, teniendo en consideración la Norma Técnica E.030 para el modelado de la estructura sin aislamiento, y el Manual de diseño sísmico 2012 IBC obtenido de SEAOC (2014) para el modelado del péndulo de fricción.

#### A. DISEÑO DEL AISLADOR FPT

- **Ubicación de los aisladores**

Dichos aisladores se ubicaron entre la cimentación y la losa del primer piso.

Se consideraron aisladores en las columnas de toda la edificación, para el módulo 1 la cantidad de 13 aisladores, para el módulo 2 la cantidad de 8 aisladores y para el módulo 3 la cantidad de 6 aisladores, haciendo un total de 27 aisladores en toda la edificación.

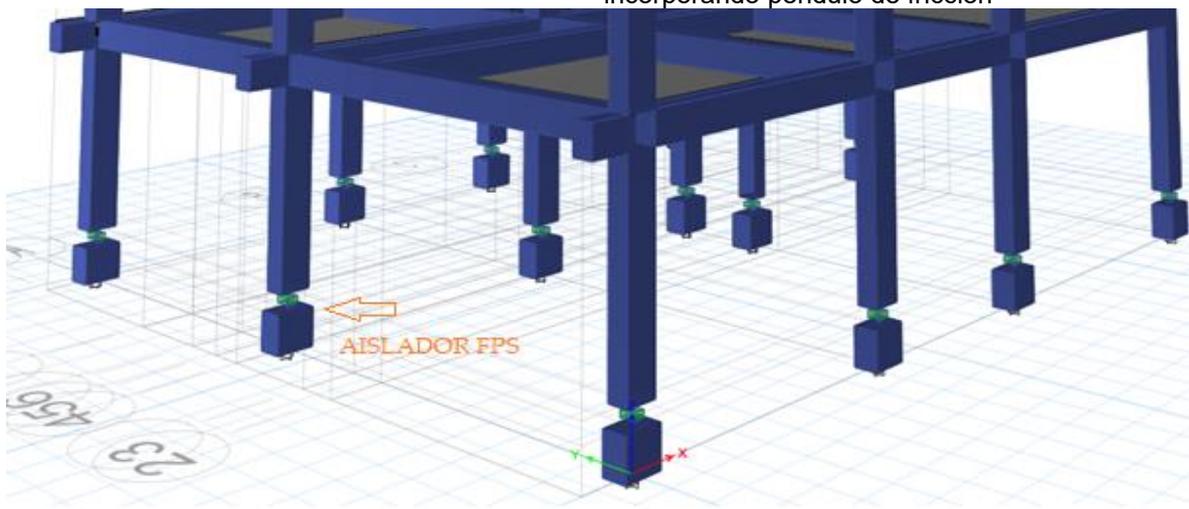


Figura 36: Módulo 1 con FPS en Etabs.

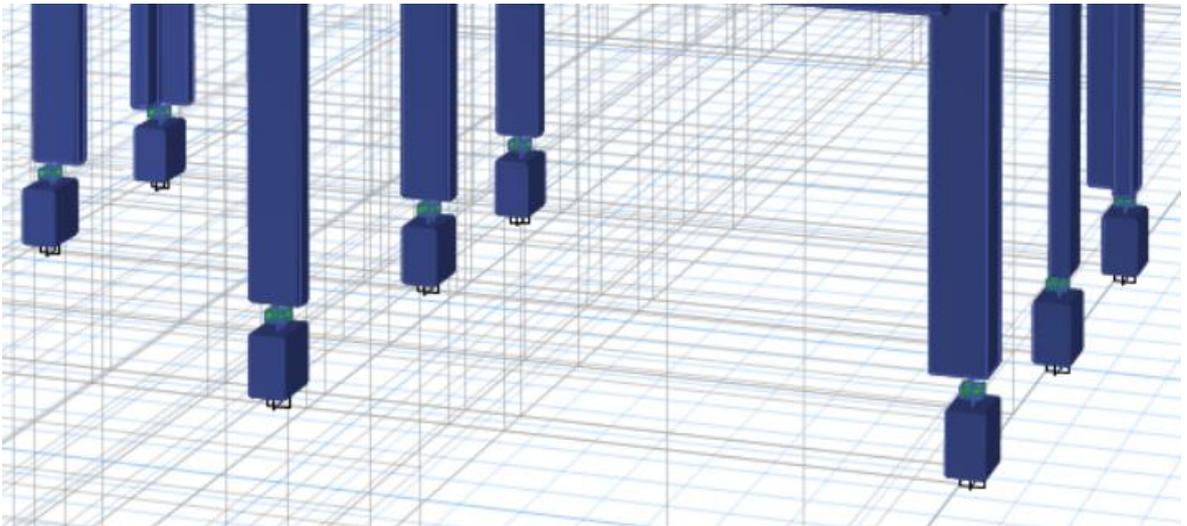


Figura 37: Módulo 2 con FPS en Etabs.

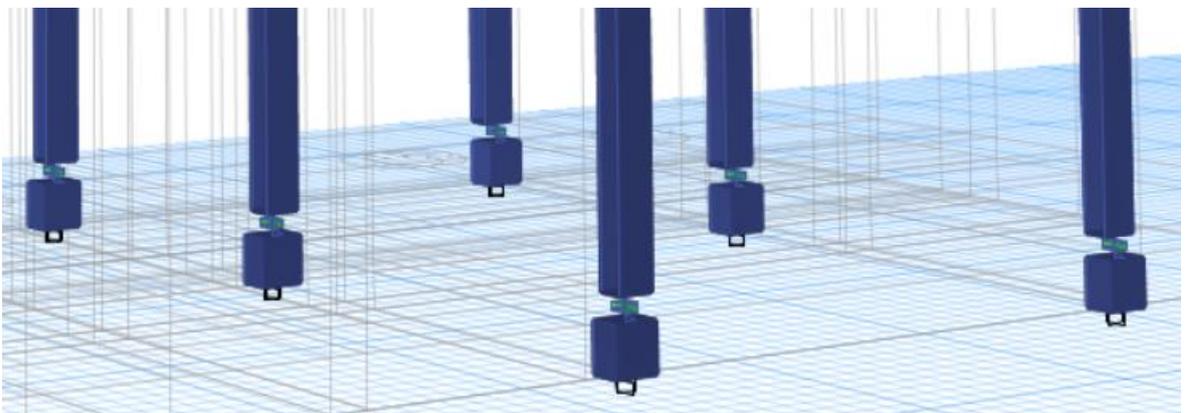


Figura 38: Módulo 3 con FPS en Etabs.

- **Diseño preliminar**

**PASO 1**, definir aisladores a analizar.

Alturas ( $h_i$ )

Según la ecuación 14 (carga promedio) tenemos,

$$\text{Carga promedio (P}_{\text{med}}) = 360\,252.853\text{kg/cm}^2$$

Para el área del deslizador rígido según la ecuación 13, necesitamos:

$$\sigma_{\text{máx.}} = 1406.14\text{ kg/cm}^2$$

Entonces:

$$A_R = 256.20\text{ cm}$$

Sin embargo, Constantinou et al. (2011) sugiere que el área de dicho deslizador rígido no debe ser menor a 100.87 in, por lo cual que asumiremos un  $A_R = 264.49\text{ cm}$ .

El diámetro del deslizador rígido (ecuación 12) es:

$$D_R \geq 18.35$$

Por la condición presentada en dicha ecuación  $D_R = 20.84\text{ cm}$ .

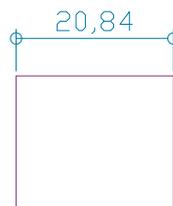


Figura 39: Diámetro de deslizador rígido.

Resumiendo, las condiciones presentadas en la teoría, tenemos:

$$\text{Espesor de placas 2 y 3} = 1 \text{ in} \approx 2.54 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de placas 1 y 4} = 2 \text{ in} \approx 5.08 \text{ cm}$$

$$t_{r2,3} = 0.5 \text{ in} \approx 1.27 \text{ cm}$$

$$t_{r1,4} = 1 \text{ in} \approx 2.54 \text{ cm}$$

$$ht_{r2,3} = 0.35 \text{ in} \approx 0.89 \text{ cm}$$

$$ht_{r1,4} = 2.03 \text{ in} \approx 5.15 \text{ cm}$$

$$\text{Separación mínima entre placas 1 y 4} = 2 \text{ in} \approx 5.08 \text{ cm}$$

$$\text{Separación mínima entre placas 2 y 3} = 1 \text{ in} \approx 2.54 \text{ cm}$$

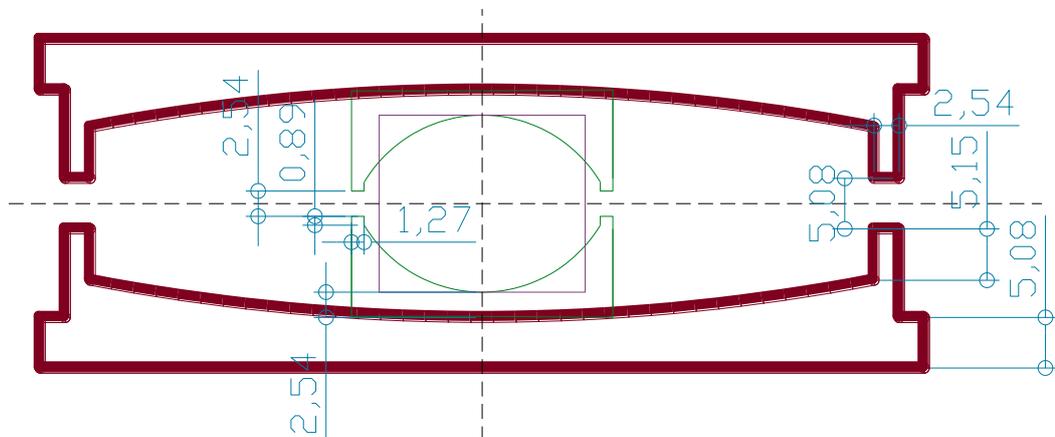


Figura 40: Espesores de las placas 1,2,3 y 4

En base a los datos anteriores, se calculan las alturas de las placas  $h_2 = h_3$ ,  
(ecuación 11).

$$h_3 = h_2 \leq 10.16 \text{ cm}$$

La ecuación 11 nos muestra una condición donde  $h_3 = h_2 \geq 8.89 \text{ cm}$ ;  
entonces tomamos  $h_3 = h_2 = 8.89 \text{ cm}$

Para  $h_1 = h_4$  aplicamos la ecuación 15, donde:

$$2 \cdot h_1 \geq h_2 + h_3 + 2 (2.54 \text{ cm})$$

$$h_1 \geq (2 \cdot h_2 + 2 \cdot (2.54 \text{ cm})) / 2$$

$$h_1 = h_4 = 11.43 \text{ cm}$$

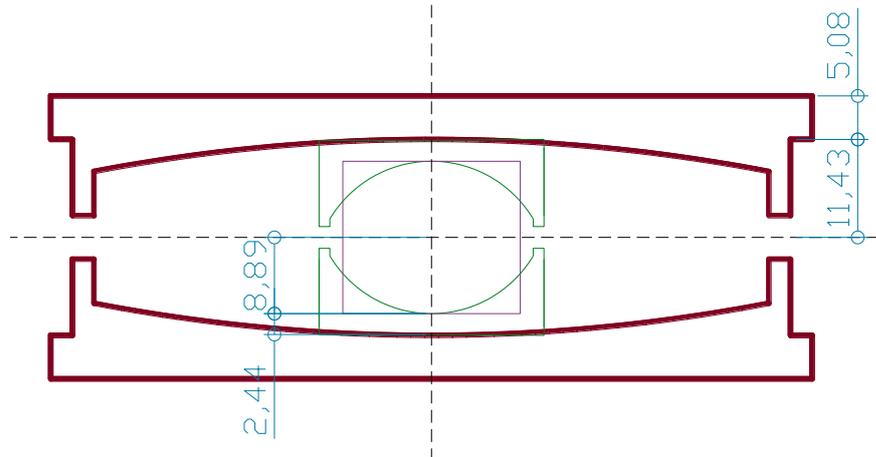


Figura 41: Alturas del sistema.

Resumen de radios de curvatura (obtenidos en marco teórico – radios de curvatura)

$$R_1 = R_4 = 223.52 \text{ cm}$$

$$R_{f1} = R_{f4} = 212.09 \text{ cm}$$

$$R_1 = R_4 = 396.24 \text{ cm}$$

$$R_{f1} = R_{f4} = 384.81 \text{ cm}$$

$$R_2 = R_3 = 13.97 \text{ cm}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 5.08 \text{ cm}$$

$$R_2 = R_3 = 30.48 \text{ cm}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 21.59 \text{ cm}$$

$$R_2 = R_3 = 58.42 \text{ cm}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 49.53 \text{ cm}$$

$$R_2 = R_3 = 83.82 \text{ cm}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 74.93 \text{ cm}$$

Asumimos los coeficientes de fricción respetando los límites ya mencionados.

$$\mu_1 < \mu_4$$

$$6\% < 8\%$$

$$\mu_2 = \mu_3 = 2\%$$

**PASO 2**, datos necesarios para el modelado, revisar marco teórico.

$$W = 453.59 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{f1} = R_{f4} = 384.81 \text{ cm (analizar según tabla de anexo 2)}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 5.08 \text{ cm (analizar según tabla de anexo 2)}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 21.59 \text{ cm (analizar según tabla de anexo 2)}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 49.53 \text{ cm (analizar según tabla de anexo 2)}$$

$$R_{f2} = R_{f3} = 74.93 \text{ cm (analizar según tabla de anexo 2)}$$

$$\mu_1 = 6\%$$

$$\mu_4 = 8\%$$

$$\mu_2 = \mu_3 = 2\%$$

$$d_2 = d_3 = 26.42 \text{ cm (asumido según radios elegidos)}$$

$$d_1 = d_4 = 1.52 \text{ cm (asumido según radios elegidos)}$$

**PASO 3**, capacidad de desplazamiento.

Dimensión en planta:

Diámetro de las placas internas 2 y 3 ( $D_s$ ), según ecuación 21.

$$D_s = 27.94 \text{ cm}$$

Diámetro de las superficies de las placas externas 1 y 4 ( $D_c$ ), según ecuación

22:

$$D_c = 81.28 \text{ in}$$

se asume  $DC = 33.0 \text{ in}$  del catálogo (83.82 cm).

Si usamos la nomenclatura de EPS, el aislador obtenido del diseño preliminar correspondería al FPT8833/11-9R/8-7. El cual es descrito por Cango (2018) de acá en adelante.

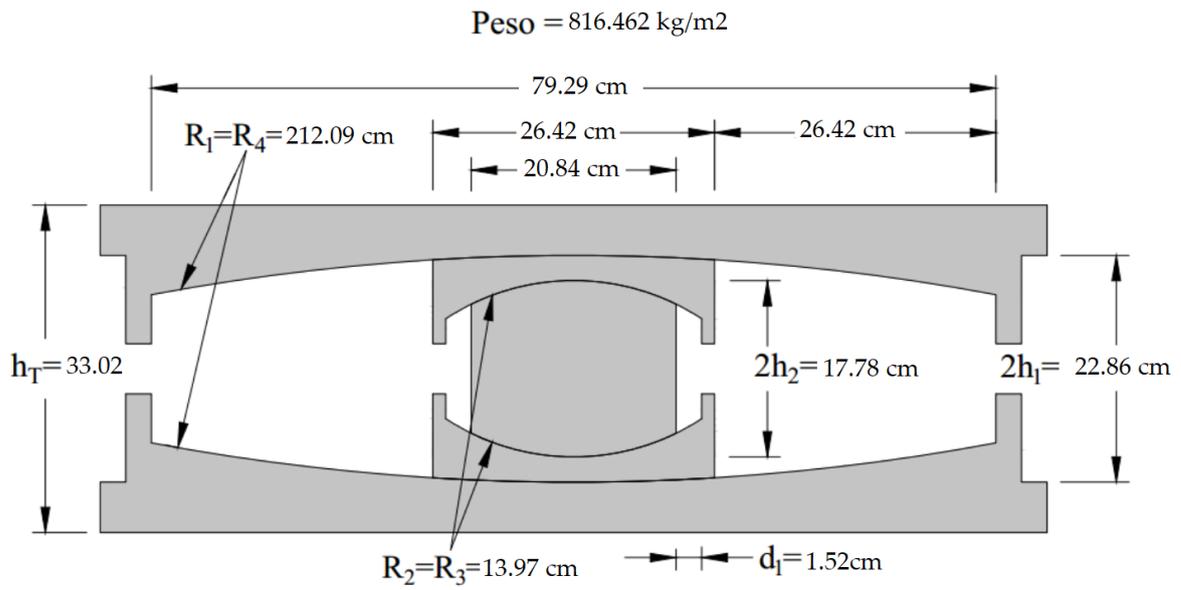


Figura 42. Geometría del aislador FPT8833

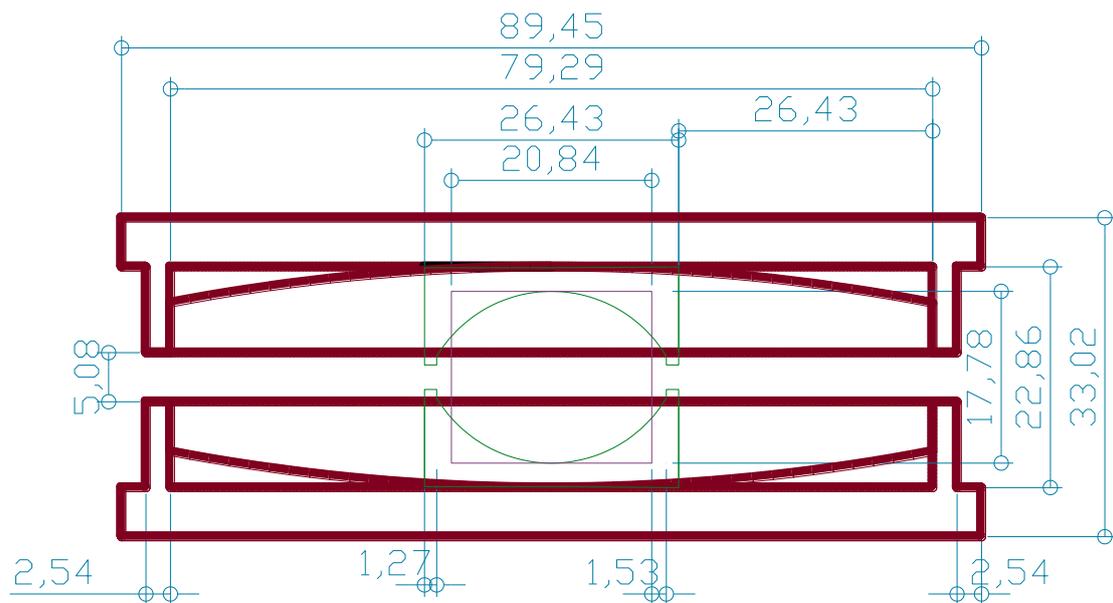


Figura 43. Geometría de FPS - modelado en AutoCAD (anexo 7)

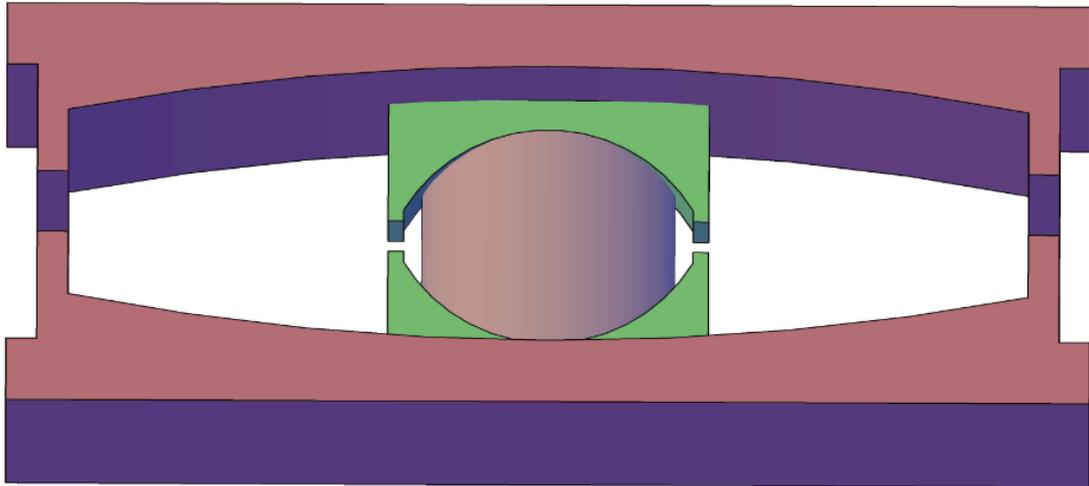


Figura 44. Modelado 3D del péndulo (anexo 8)

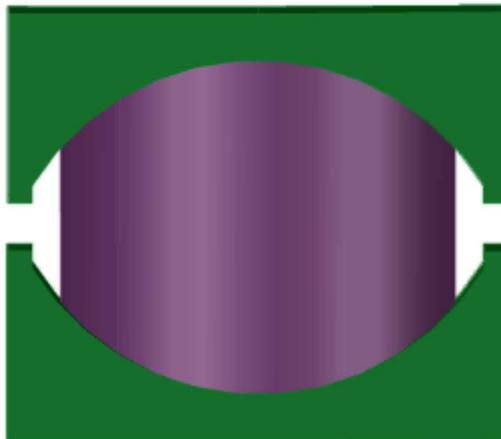


Figura 45. Placas 2 y 3 del FPT (anexo 8)

- **Parámetros geométricos del aislador FPT8833**

$$R_{ef2} = R_{ef3} = 5.5 \text{ in} = 13.97 \text{ cm}$$

$$R_{ef1} = R_{ef4} = 83.5 \text{ in} = 212.09 \text{ cm}$$

$$d_2 = d_3 = 10.4 \text{ in} = 26.42 \text{ cm}$$

$$d_1 = d_4 = 0.6 \text{ in} = 1.52 \text{ cm}$$

- **Parámetros geométricos del aislador FPT8833**

Slow

$$\mu_2 = \mu_3 = 1.2\%$$

$$\mu_1 = 3.6\%$$

$$\mu_4 = 4.8\%$$

Fast

$$\mu_2 = \mu_3 = 1.8\%$$

$$\mu_1 = 5.6\%$$

$$\mu_4 = 7.2\%$$

- **Propiedades del elemento en Etabs.**

Peso del aislador ( $W_I$ ) = 0.816476 tn = 1.8 kips

Masa del aislador ( $m$ ) =  $W_I/g = 0.08929 \text{ tn}\cdot\text{seg}^2/\text{cm}$

Inercia rotacional ejes horizontales (dirección 2 y dirección 3).

$$I_x = I_y = mr^2/4$$

$$I_x = I_y = 0.317 \text{ kip}\cdot\text{in}\cdot\text{seg}^2$$

$$I_x = I_y = 0.0037 \text{ ton}\cdot\text{m}\cdot\text{seg}^2$$

$$r \approx 16.5 \text{ in (radio del aislador)}$$

$$r \approx 41.91 \text{ cm (radio del aislador)}$$

Inercia rotacional eje vertical (dirección 1)

$$I_z = mr^2/2$$

$$I_z = 0.634 \text{ kip}\cdot\text{in}\cdot\text{seg}^2$$

$$I_z = 0.0073 \text{ tn}\cdot\text{cm}\cdot\text{seg}^2$$

Para determinar la inercia rotacional se ha considerado que el aislador es un disco rígido de diámetro  $D_c$ .

- **Propiedades en la dirección U1 (Z)**

Rigidez vertical ( $K_V$ ): Se calcula asumiendo que el aislador es un cilindro con diámetro igual a  $D_R$  y con altura igual a  $h_T$ .

$$D_R = 20.32 \text{ cm y } h_T = 33.02 \text{ cm, por lo tanto:}$$

$$K_V = EA_R/h_T = (14500 \times 50.27) / 13 = 56070 \text{ kip/in}$$

$$K_V = 1001296.3 \text{ tn/m}$$

dónde:

$E$ : Es el módulo de elasticidad del acero  $E=29000 \text{ kip/in} = 517881.089 \text{ tn/m}$ .

Pero se usa  $E/2$  para considerar mayor deformabilidad en el aislador.

$A_R$ : Es el área de la sección transversal del cilindro de diámetro  $D_R$ .

Optamos por usar una rigidez  $K_V = 125005.78 \text{ tn/m}$  debido a problemas de convergencia. Dicha rigidez es la misma para las propiedades lineales y no-lineales. La rigidez lineal se ingresa para realizar el análisis de cargas gravitacionales.

- **Propiedades en la dirección U2 Y U3 (X,Y)**

Las propiedades que se deben ingresar se muestran en la tabla 8 para los términos “Outer\_top”, “Outer\_botton” e “Inner\_top = Inner\_botton” pertenecen a las propiedades de la placa 4, placa 1 y placa 2 = 3, respectivamente. Debe notarse que no se ha colocado la capacidad de desplazamiento real en las dos placas externas, sino que ha establecido una capacidad mayor e igual a 50.8 m. Esto se realiza para asegurar que el deslizamiento permanezca en la tercera fase, de esta manera se evita la reducción del desplazamiento en alguno de los sismos como consecuencia de la

rigidización del sistema de aislación al ingresar en la cuarta o quinta fase de movimiento.

Tabla 5:

Propiedades utilizadas en Etabs

Parameter	Outer_top	Outer_top	Inner_top = Inner_bottom	Units
Stiffness	7697.142	5131.487	2565.654	tn/m
$\mu$ _ Slow	0.048	0.036	0.012	%
$\mu$ _ Fast	0.072	0.056	0.018	%
Rate Parameter	46.063	50	50	seg/m
Radius of Sliding Surface	2.2352	2.2352	0.2286	m
Stop Distance	1.27	1.27	0.127	m

## B. MODELAMIENTO DE LOS MÓDULOS SIN FPS

- Modelamiento de la malla para el eje X y eje Y:

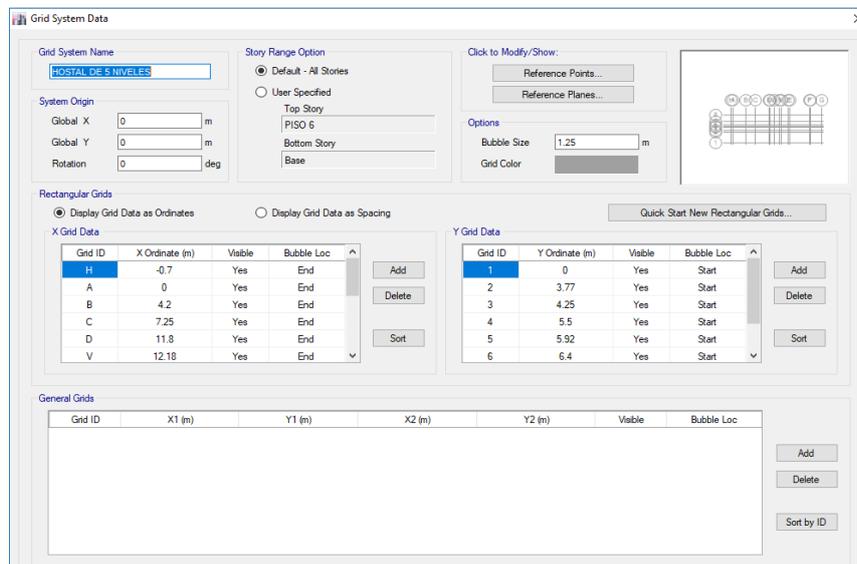
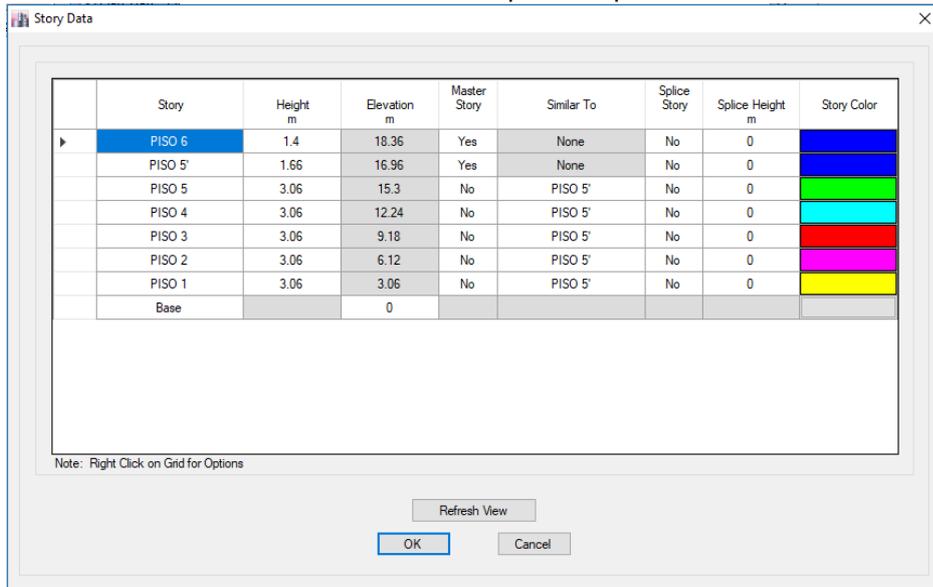


Figura 46. Ingreso de valores en eje X y Y.



Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
PISO 6	1.4	18.36	Yes	None	No	0	Blue
PISO 5'	1.66	16.96	Yes	None	No	0	Blue
PISO 5	3.06	15.3	No	PISO 5'	No	0	Green
PISO 4	3.06	12.24	No	PISO 5'	No	0	Cyan
PISO 3	3.06	9.18	No	PISO 5'	No	0	Red
PISO 2	3.06	6.12	No	PISO 5'	No	0	Magenta
PISO 1	3.06	3.06	No	PISO 5'	No	0	Yellow
Base		0					

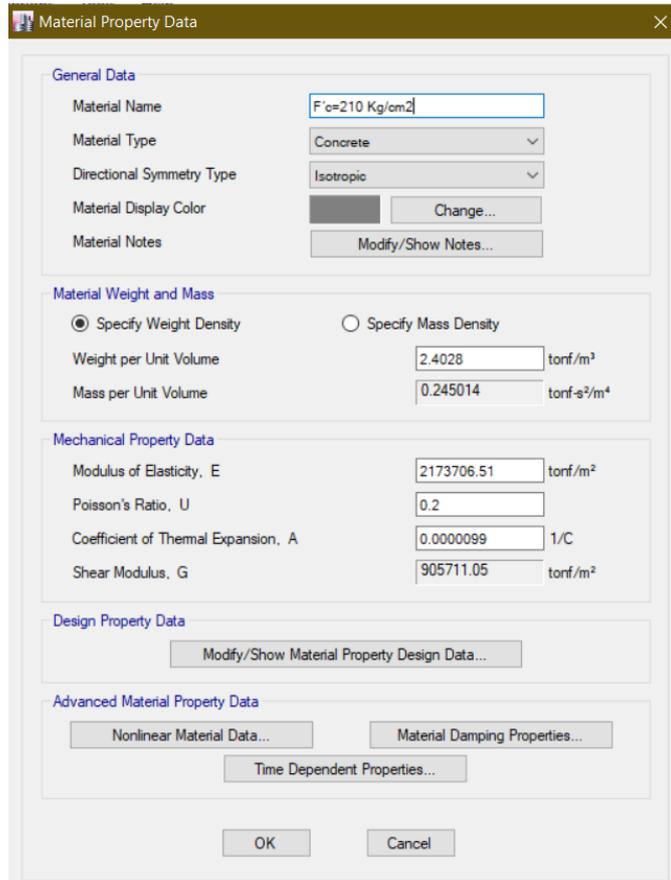
Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View

OK Cancel

Figura 47. Ingreso de valores en eje Z.

- **Definición de materiales:**



Material Property Data

**General Data**

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:  Change...

Material Notes:

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume:  tonf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume:  tonf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E:  tonf/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A:  1/C

Shear Modulus, G:  tonf/m<sup>2</sup>

**Design Property Data**

**Advanced Material Property Data**

OK Cancel

Figura 48. Definición de material Concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

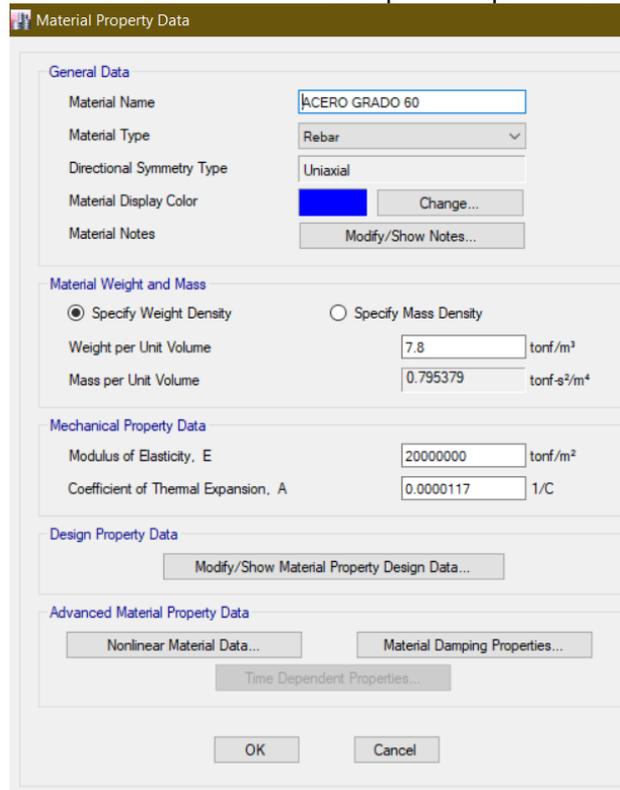


Figura 49: Definición de material acero grado 60.

- **Definición de secciones:**

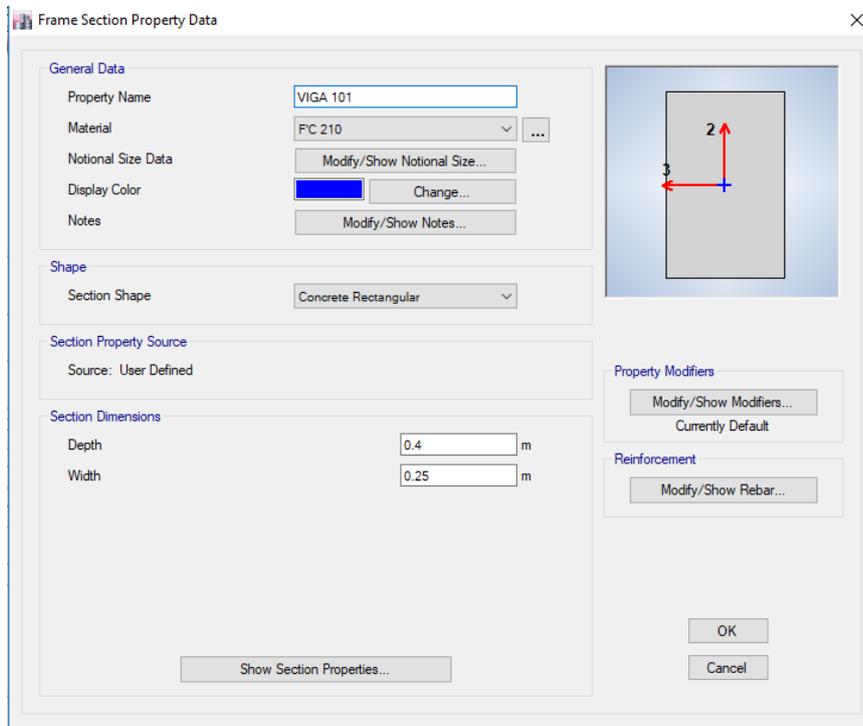
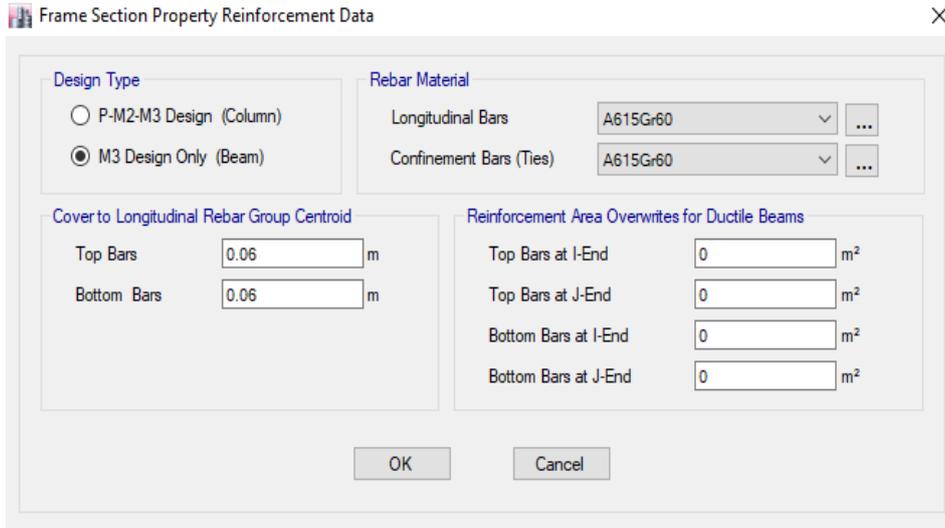


Figura 50. Sección de viga 101 40x25cm.



Frame Section Property Reinforcement Data

**Design Type**

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid**

Top Bars: 0.06 m

Bottom Bars: 0.06 m

**Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams**

Top Bars at I-End: 0 m<sup>2</sup>

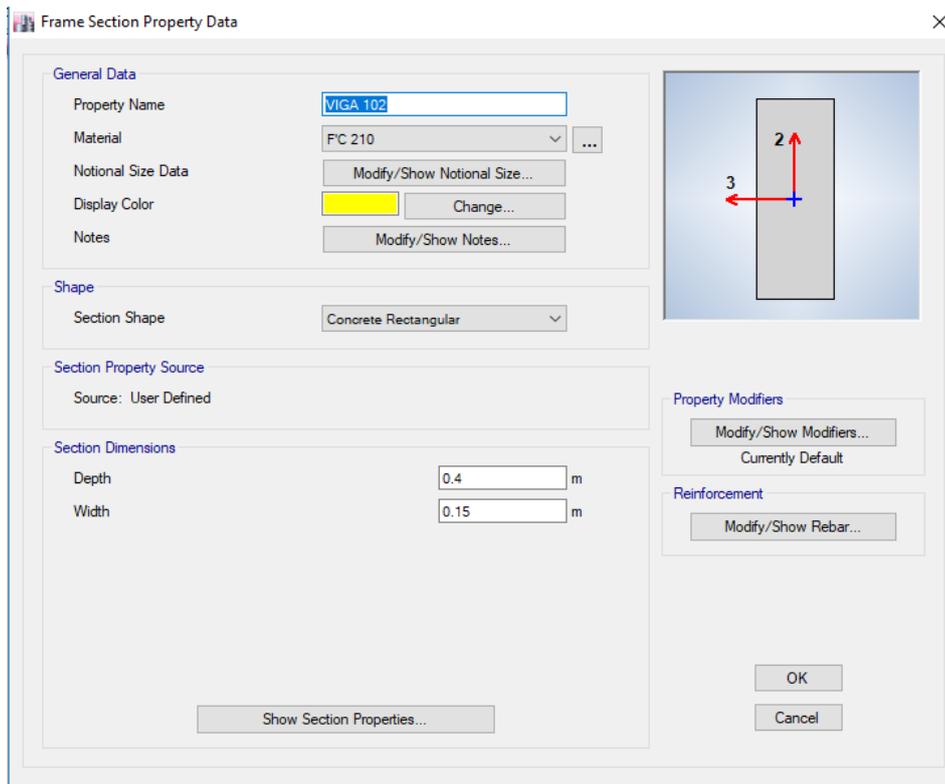
Top Bars at J-End: 0 m<sup>2</sup>

Bottom Bars at I-End: 0 m<sup>2</sup>

Bottom Bars at J-End: 0 m<sup>2</sup>

OK Cancel

Figura 51. Propiedades de reforzamiento de viga 101.



Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: VIGA 102

Material: FC 210

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.4 m

Width: 0.15 m

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers... (Currently Default)

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

OK Cancel

Figura 52. Sección viga 102 40 X15 cm.

Frame Section Property Reinforcement Data

P-M2-M3 Design (Column)  
 M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**  
 Longitudinal Bars: A615Gr60  
 Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid**  
 Top Bars: 0.06 m  
 Bottom Bars: 0.06 m

**Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams**  
 Top Bars at I-End: 0 m<sup>2</sup>  
 Top Bars at J-End: 0 m<sup>2</sup>  
 Bottom Bars at I-End: 0 m<sup>2</sup>  
 Bottom Bars at J-End: 0 m<sup>2</sup>

OK Cancel

Figura 53 .Propiedades de reforzamiento de viga 102.

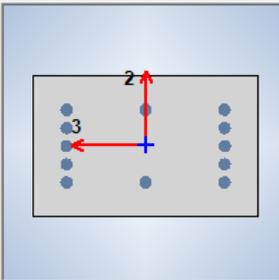
Frame Section Property Data

**General Data**  
 Property Name: COL 1  
 Material: 4000Psi  
 Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...  
 Display Color: Change...  
 Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**  
 Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**  
 Source: User Defined

**Section Dimensions**  
 Depth: 0.25 m  
 Width: 0.4 m

**Reinforcement Diagram**  


**Property Modifiers**  
 Modify/Show Modifiers...  
 Currently Default

**Reinforcement**  
 Modify/Show Rebar...

Show Section Properties... OK Cancel

Figura 54. Sección columna 25x40cm.

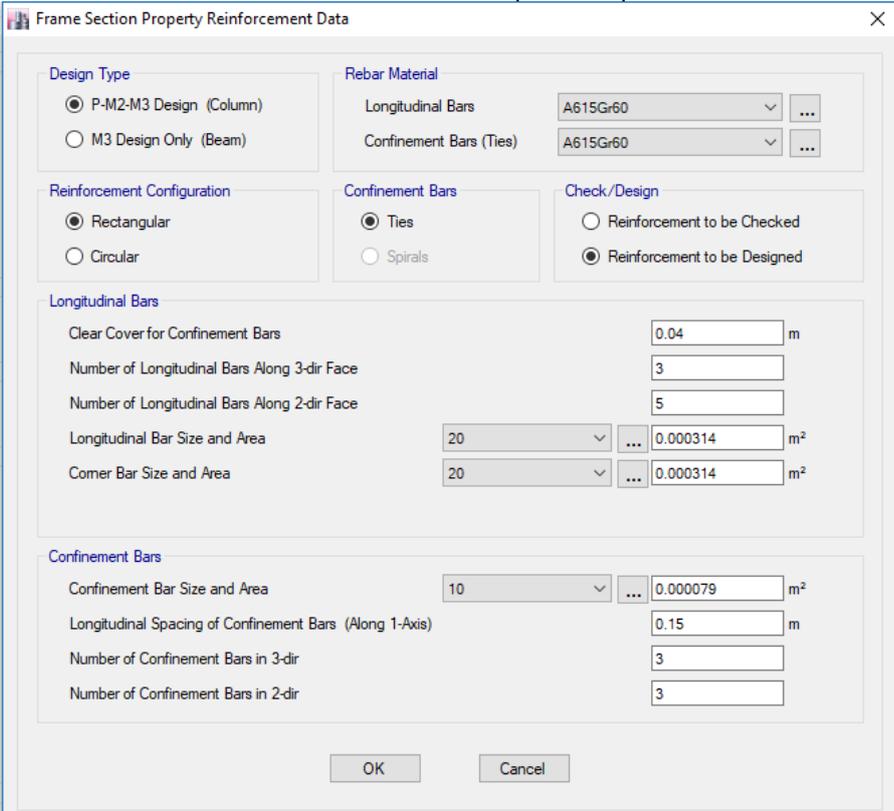


Figura 55. Propiedades de reforzamiento de la columna 20x40cm.

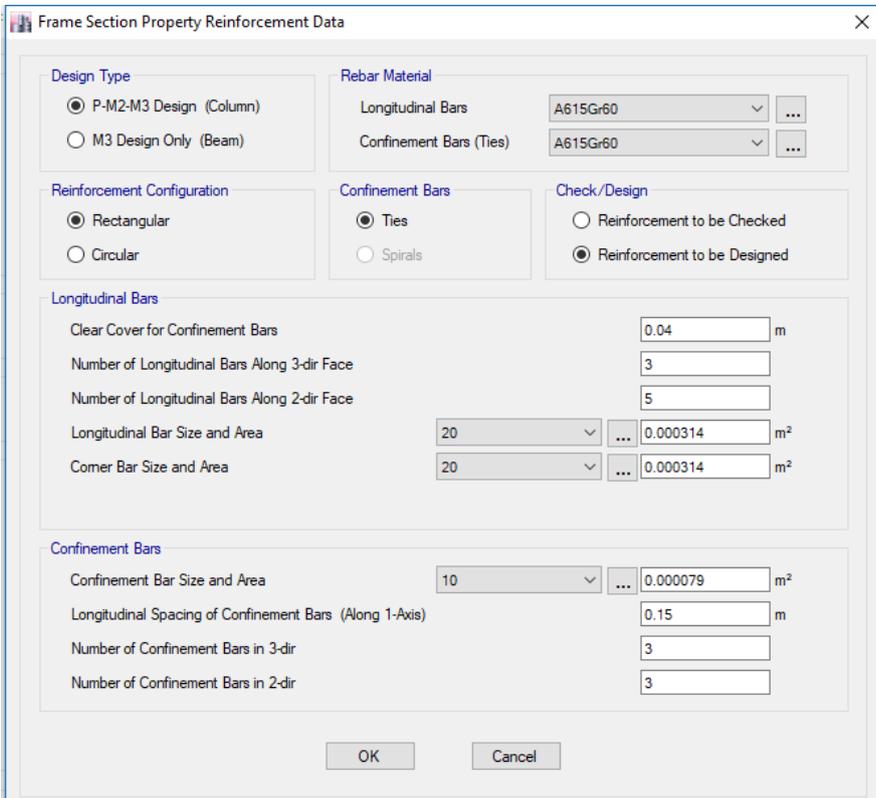
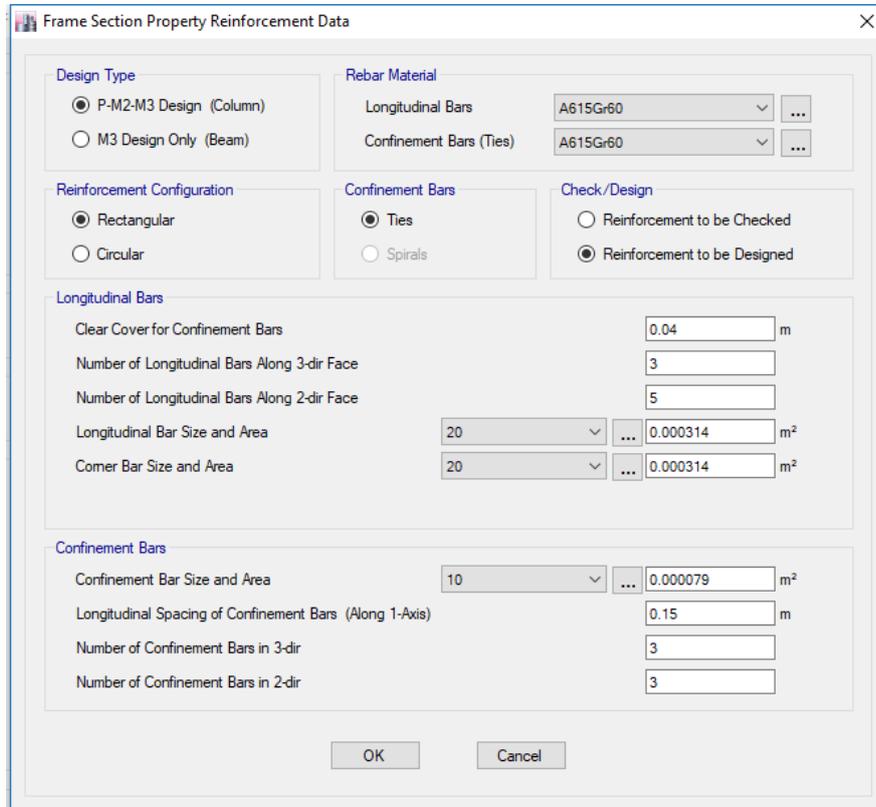


Figura 56. Sección columna L 15x40x15cm.



**Frame Section Property Reinforcement Data**

**Design Type**

P-M2-M3 Design (Column)  
 M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: A615Gr60  
 Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Reinforcement Configuration**

Rectangular  
 Circular

**Confinement Bars**

Ties  
 Spirals

**Check/Design**

Reinforcement to be Checked  
 Reinforcement to be Designed

**Longitudinal Bars**

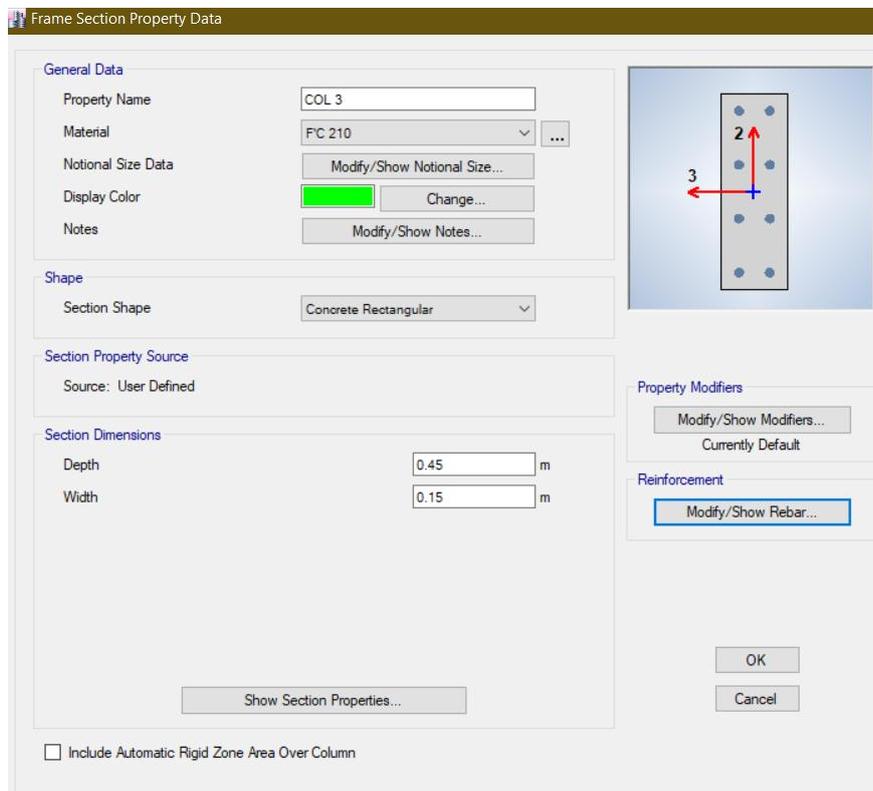
Clear Cover for Confinement Bars: 0.04 m  
 Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3  
 Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5  
 Longitudinal Bar Size and Area: 20, 0.000314 m<sup>2</sup>  
 Corner Bar Size and Area: 20, 0.000314 m<sup>2</sup>

**Confinement Bars**

Confinement Bar Size and Area: 10, 0.000079 m<sup>2</sup>  
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.15 m  
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 3  
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Figura 57. Propiedades de reforzamiento de la columna L 15x40x15cm



**Frame Section Property Data**

**General Data**

Property Name: COL 3  
 Material: FC 210  
 Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...  
 Display Color: Change...  
 Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.45 m  
 Width: 0.15 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
 Currently Default

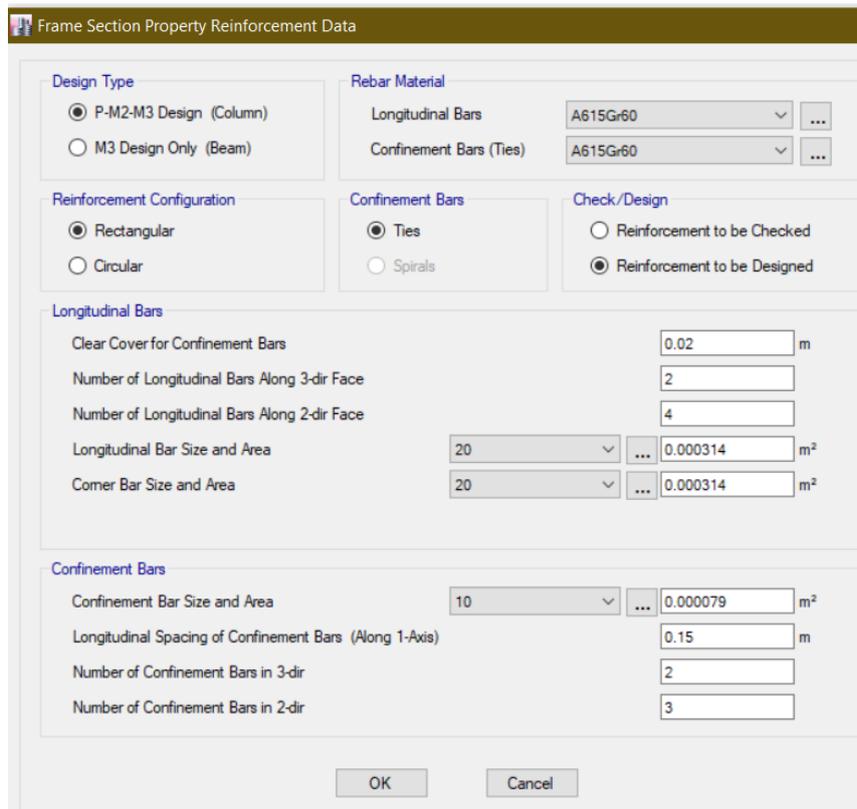
**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Figura 58. Sección columna 15x45cm.



**Frame Section Property Reinforcement Data**

**Design Type**

P-M2-M3 Design (Column)  
 M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: A615Gr60  
 Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Reinforcement Configuration**

Rectangular  
 Circular

**Confinement Bars**

Ties  
 Spirals

**Check/Design**

Reinforcement to be Checked  
 Reinforcement to be Designed

**Longitudinal Bars**

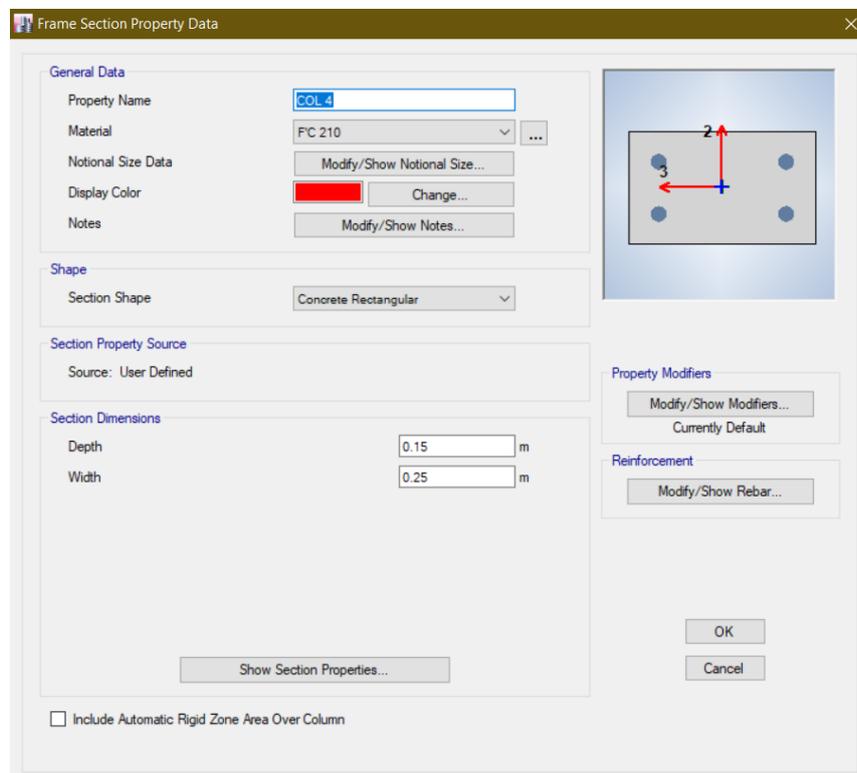
Clear Cover for Confinement Bars: 0.02 m  
 Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 2  
 Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 4  
 Longitudinal Bar Size and Area: 20 m², 0.000314 m²  
 Corner Bar Size and Area: 20 m², 0.000314 m²

**Confinement Bars**

Confinement Bar Size and Area: 10 m², 0.000079 m²  
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.15 m  
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 2  
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Figura 59. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x45cm



**Frame Section Property Data**

**General Data**

Property Name: COL4  
 Material: FC 210  
 Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...  
 Display Color: Change...  
 Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.15 m  
 Width: 0.25 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
 Currently Default

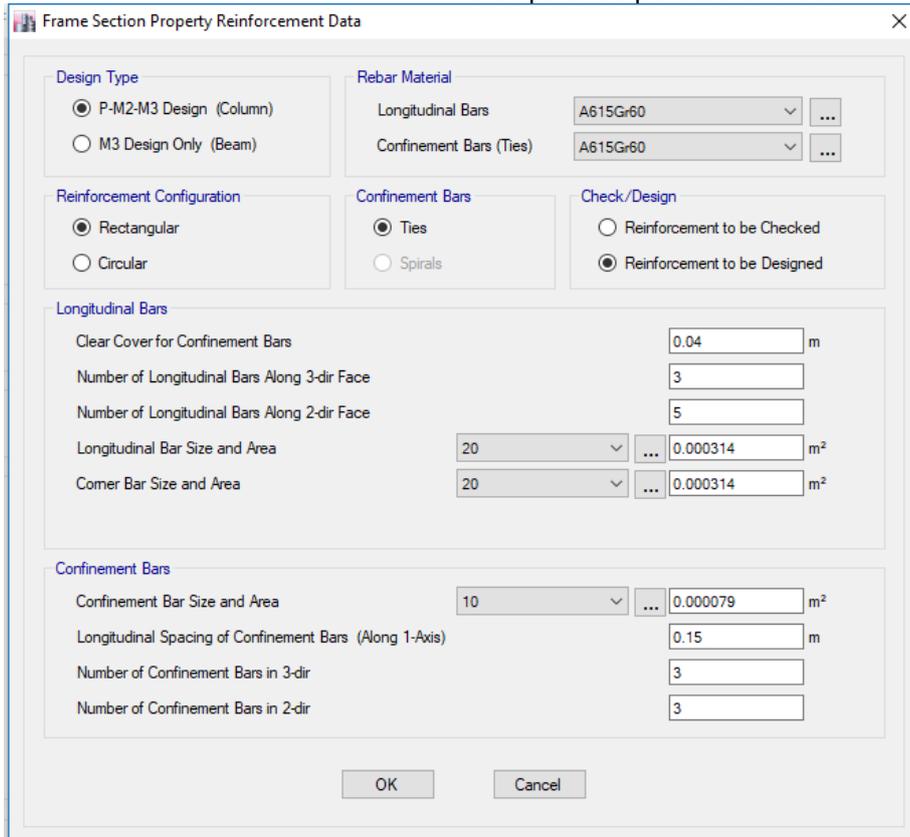
**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Figura 60. Sección columna 15x25cm.



**Frame Section Property Reinforcement Data**

**Design Type**

- P-M2-M3 Design (Column)
- M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Reinforcement Configuration**

- Rectangular
- Circular

**Confinement Bars**

- Ties
- Spirals

**Check/Design**

- Reinforcement to be Checked
- Reinforcement to be Designed

**Longitudinal Bars**

Clear Cover for Confinement Bars: 0.04 m

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 20, 0.000314 m<sup>2</sup>

Corner Bar Size and Area: 20, 0.000314 m<sup>2</sup>

**Confinement Bars**

Confinement Bar Size and Area: 10, 0.000079 m<sup>2</sup>

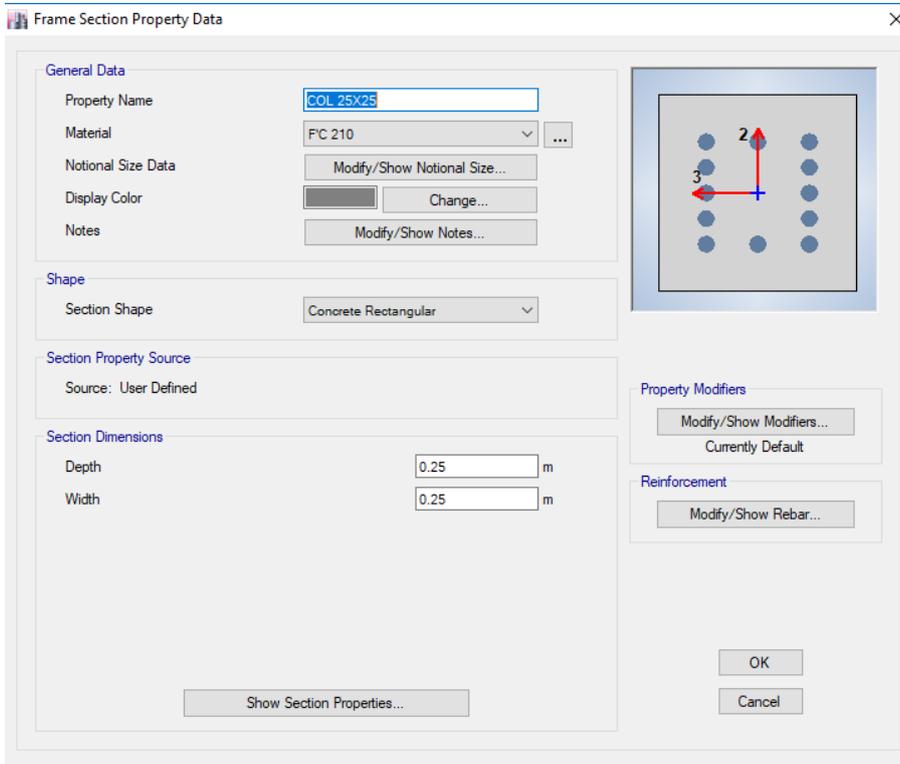
Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.15 m

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Figura 61. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x25cm.



**Frame Section Property Data**

**General Data**

Property Name: COL\_25X25

Material: FC 210

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.25 m

Width: 0.25 m

**Reinforcement Diagram**

The diagram shows a rectangular cross-section with 8 reinforcement bars: 4 longitudinal bars at the corners and 4 confinement bars (2 on each of the two visible faces). Dimensions 2 and 3 are indicated on the diagram.

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

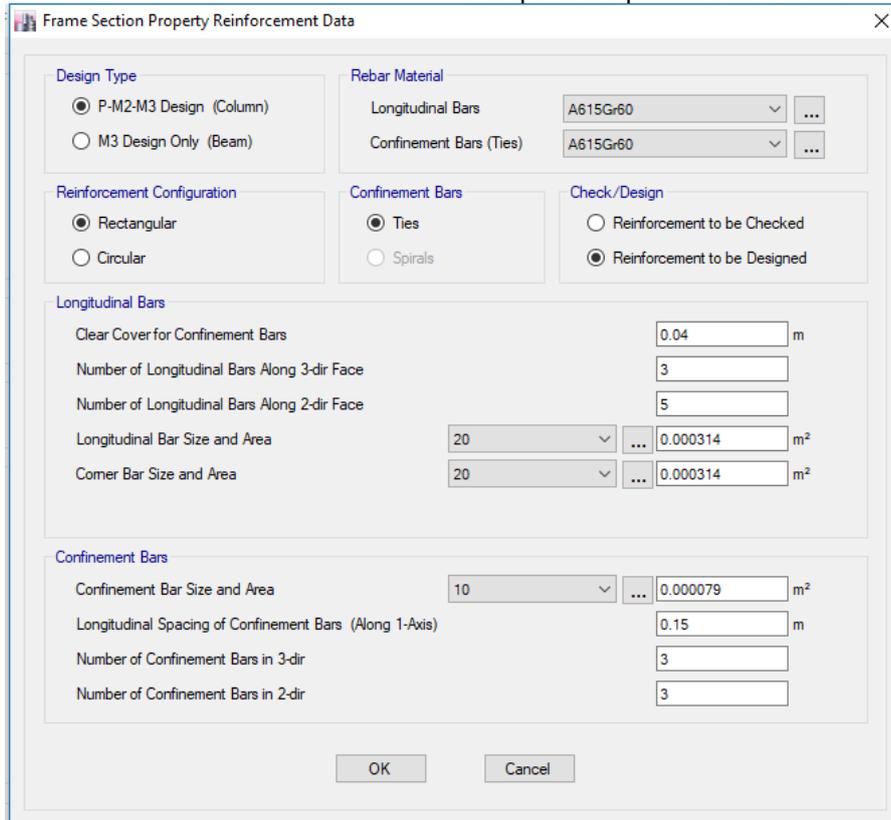
**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

OK Cancel

Figura 62. Sección columna 25x25cm.



**Frame Section Property Reinforcement Data**

**Design Type**  
 P-M2-M3 Design (Column)  
 M3 Design Only (Beam)

**Rebar Material**  
 Longitudinal Bars: A615Gr60  
 Confinement Bars (Ties): A615Gr60

**Reinforcement Configuration**  
 Rectangular  
 Circular

**Confinement Bars**  
 Ties  
 Spirals

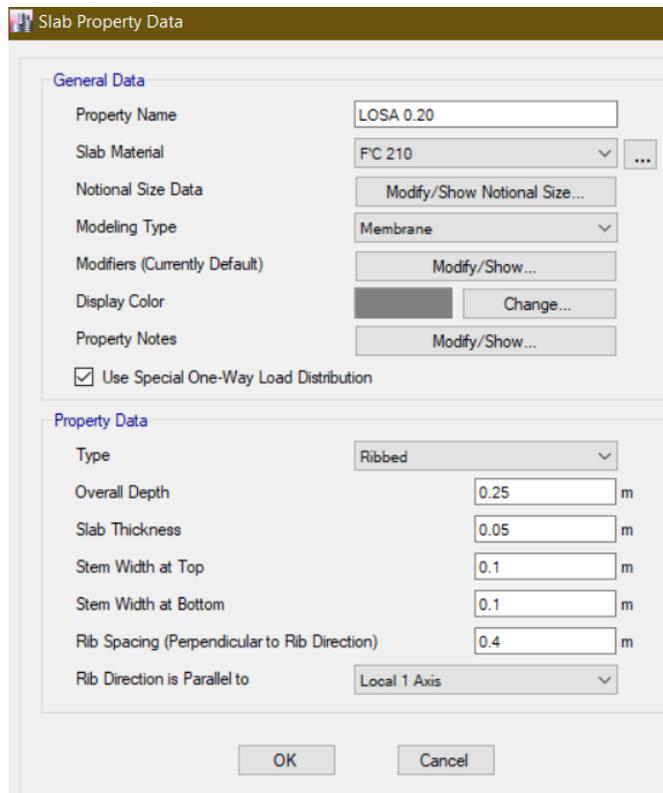
**Check/Design**  
 Reinforcement to be Checked  
 Reinforcement to be Designed

**Longitudinal Bars**  
 Clear Cover for Confinement Bars: 0.04 m  
 Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3  
 Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5  
 Longitudinal Bar Size and Area: 20 mm, 0.000314 m<sup>2</sup>  
 Corner Bar Size and Area: 20 mm, 0.000314 m<sup>2</sup>

**Confinement Bars**  
 Confinement Bar Size and Area: 10 mm, 0.000079 m<sup>2</sup>  
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.15 m  
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 3  
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Figura 63. Propiedades de reforzamiento de la columna 15x25cm



**Slab Property Data**

**General Data**  
 Property Name: LOSA 0.20  
 Slab Material: FC 210  
 Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...  
 Modeling Type: Membrane  
 Modifiers (Currently Default): Modify/Show...  
 Display Color: Change...  
 Property Notes: Modify/Show...  
 Use Special One-Way Load Distribution

**Property Data**  
 Type: Ribbed  
 Overall Depth: 0.25 m  
 Slab Thickness: 0.05 m  
 Stem Width at Top: 0.1 m  
 Stem Width at Bottom: 0.1 m  
 Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 0.4 m  
 Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

OK Cancel

Figura 64. Definición de elemento losa.

**A.1. Asignación de elementos estructurales para el módulo 1** se dibujan en el siguiente orden: columnas, vigas y losas, obteniendo:

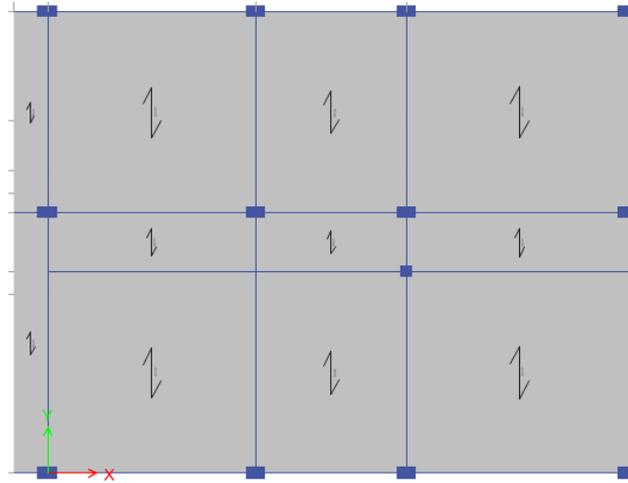


Figura 65. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 1.

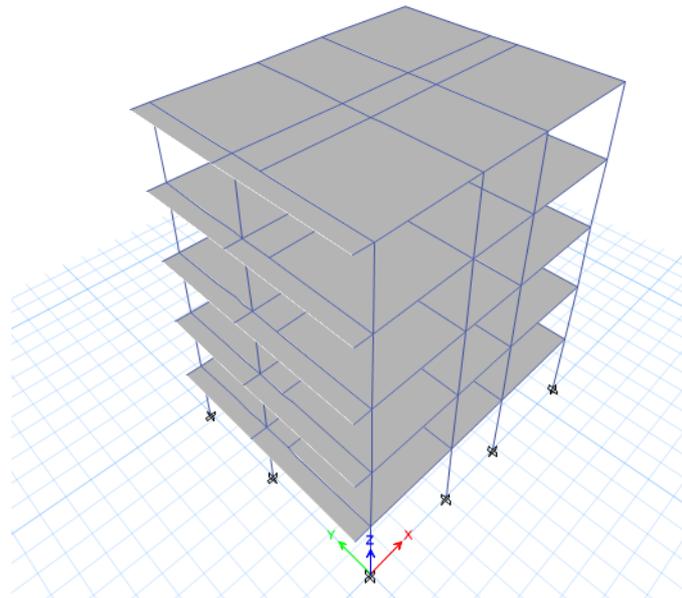


Figura 66 .Vista isométrica del módulo 1

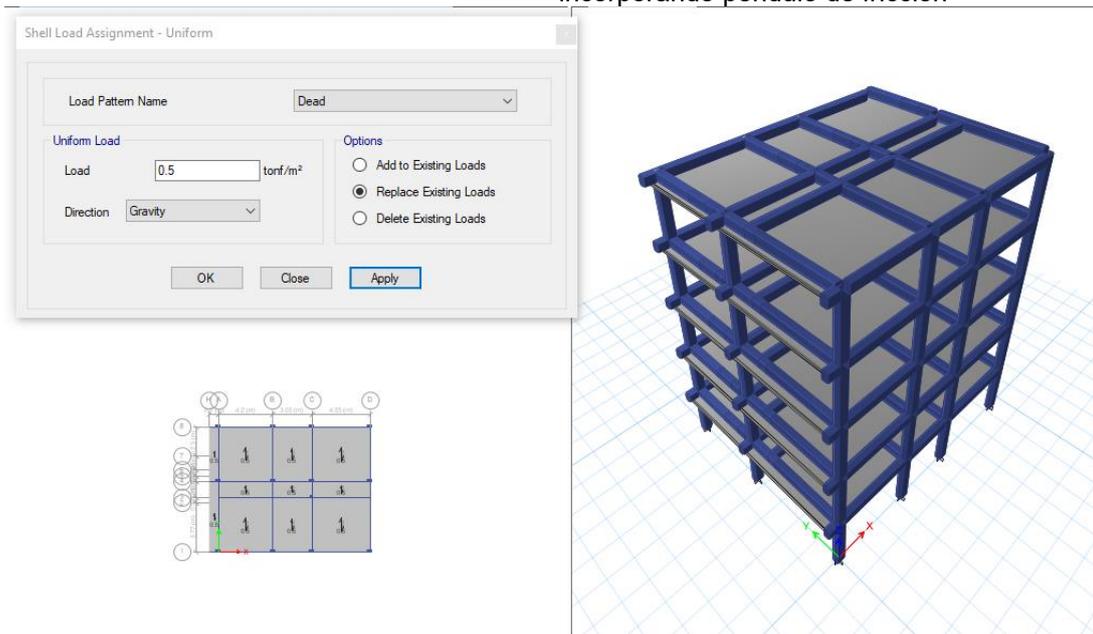


Figura 67. Ingreso de cargas muertas – módulo 1

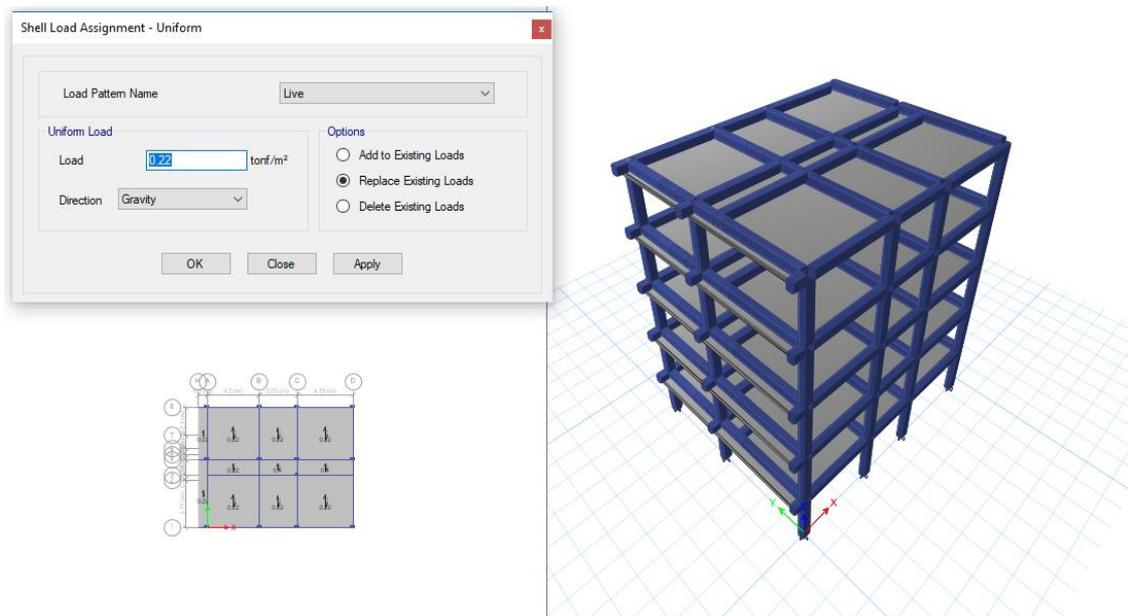


Figura 68. Ingreso de carga viva – módulo 1.

“Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulo de fricción”

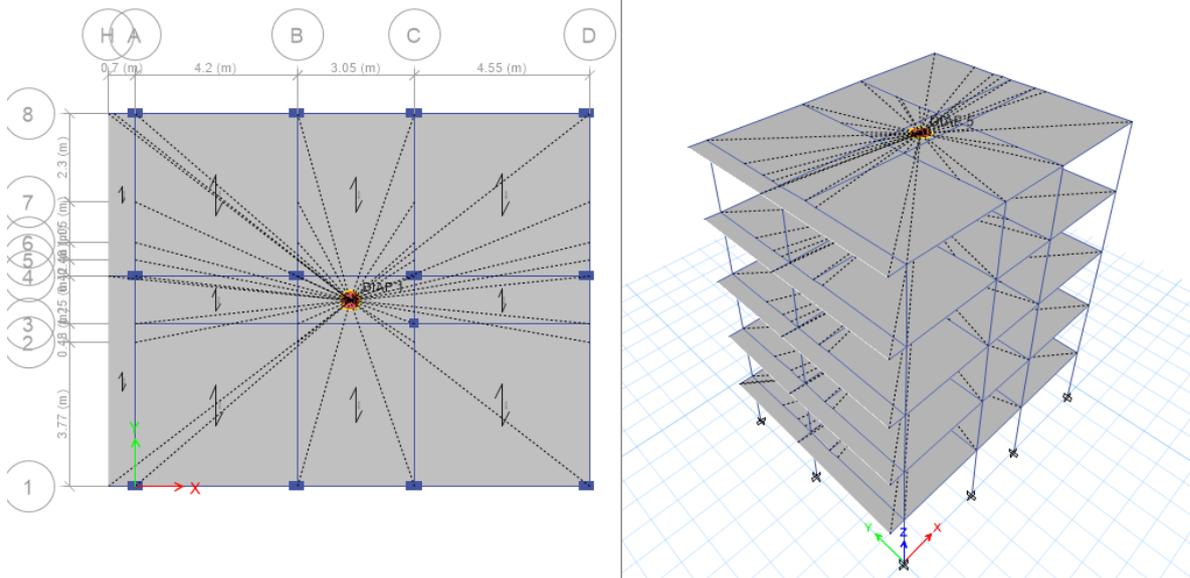


Figura 69. Asignación de diafragmas por cada nivel – módulo 1.

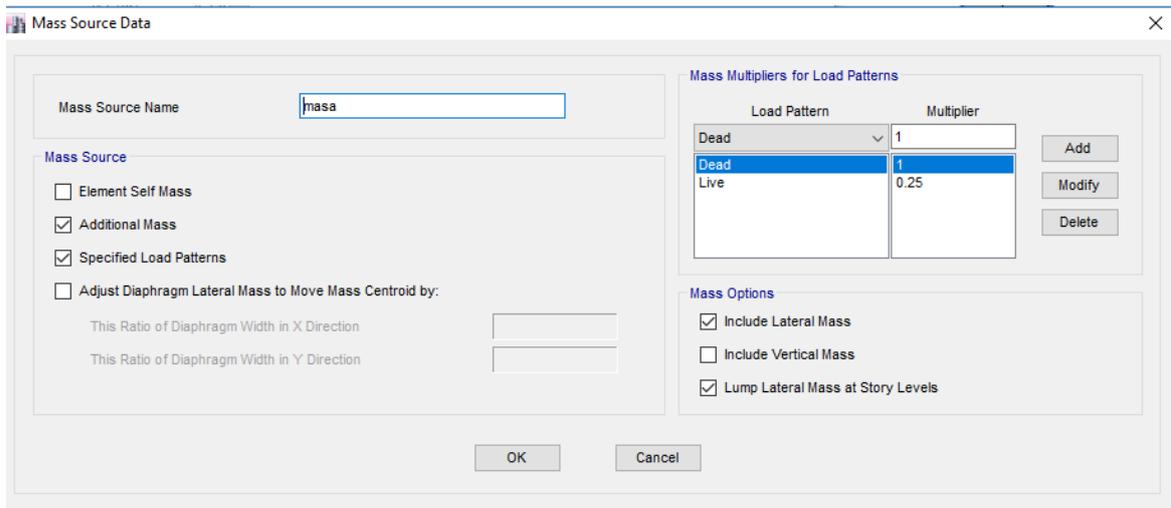


Figura 70. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 1

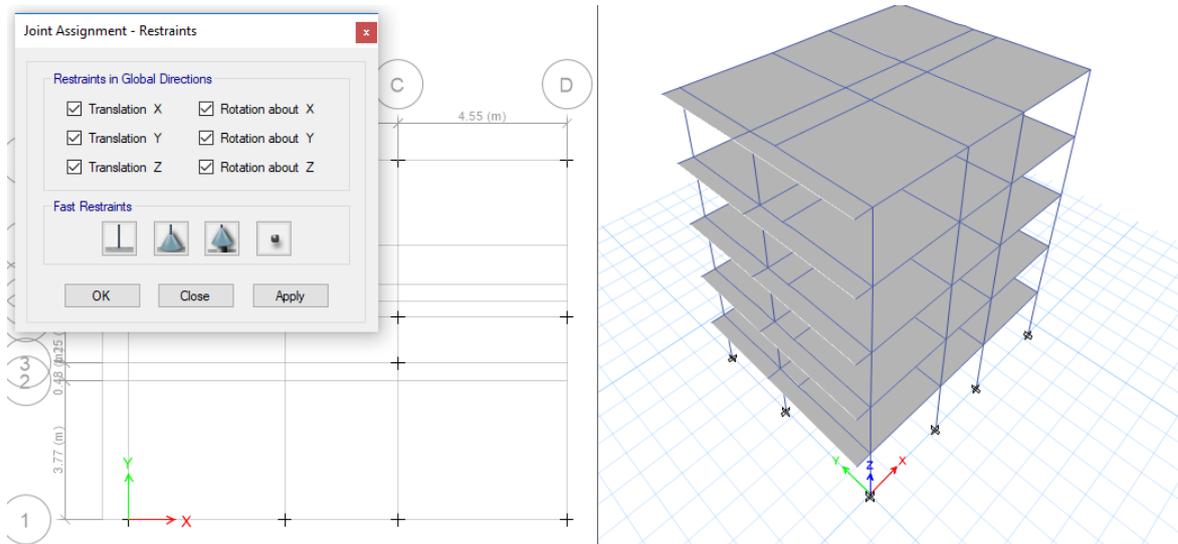


Figura 71. Asignación de empotramiento en la base – módulo 1.

## Análisis estático módulo 1

Se determina la fuerza cortante en la base:

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

Ecuación 21: Fuerza cortante en la base.

Donde el peso (P) será igual a 25% de la carga viva:  $25\%CV = 512.5 \text{ kg/m}^2$ .

$$V = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{7.2} * 512.5$$

$$V = 71.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity		Factors	
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir	<input type="checkbox"/> Y Dir	Base Shear Coefficient, C	0.131
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir + Eccentricity	<input type="checkbox"/> Y Dir + Eccentricity	Building Height Exp., K	1
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir - Eccentricity	<input type="checkbox"/> Y Dir - Eccentricity	Story Range	
Ecc. Ratio (All Diaph.)	0.05	Top Story	PISO 6
Overwrite Eccentricities	Overwrite...	Bottom Story	BASE
OK		Cancel	

Figura 72 . Definición de análisis estático en X – módulo 1

Análisis estático en dirección Y con factor de escala 0.131

Seismic Load Pattern - User Defined

Direction and Eccentricity		Factors	
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir	<input type="checkbox"/> Y Dir	Base Shear Coefficient, C	0.131
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir + Eccentricity	<input type="checkbox"/> Y Dir + Eccentricity	Building Height Exp., K	1
<input checked="" type="checkbox"/> X Dir - Eccentricity	<input type="checkbox"/> Y Dir - Eccentricity	Story Range	
Ecc. Ratio (All Diaph.)	0.05	Top Story	PISO 6
Overwrite Eccentricities	Overwrite...	Bottom Story	BASE
OK		Cancel	

Figura 73 .Definición de análisis estático en Y – módulo

**Análisis dinámico módulo 1:**

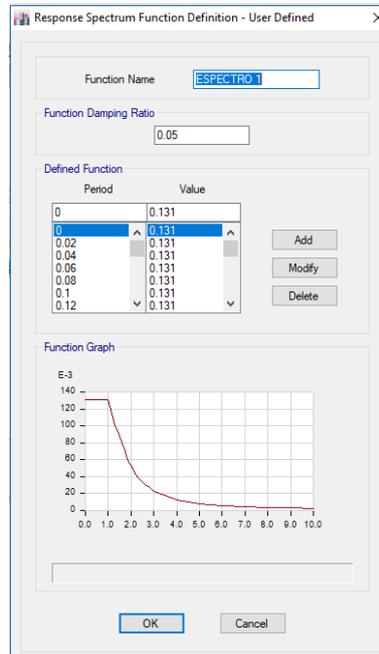


Figura 74. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – módulo 1

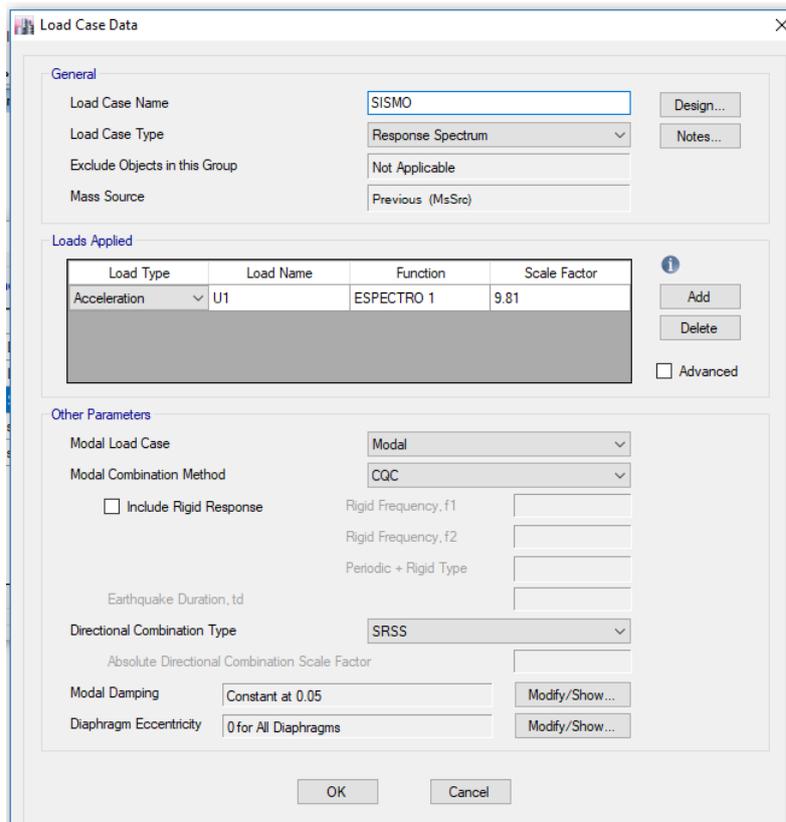
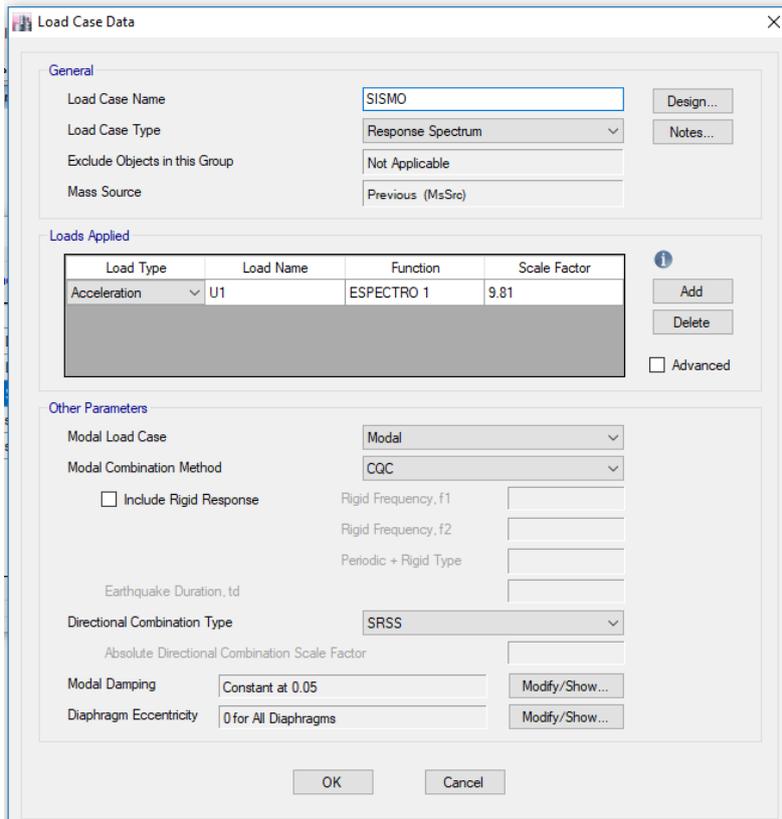


Figura 75 .Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidenta – módulo 1.



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO 1	9.81

Figura 76. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental – módulo 1.

**A.2. Asignación de elementos estructurales para el módulo 2** se dibujan en el siguiente orden: columnas, vigas y losas, obteniendo:

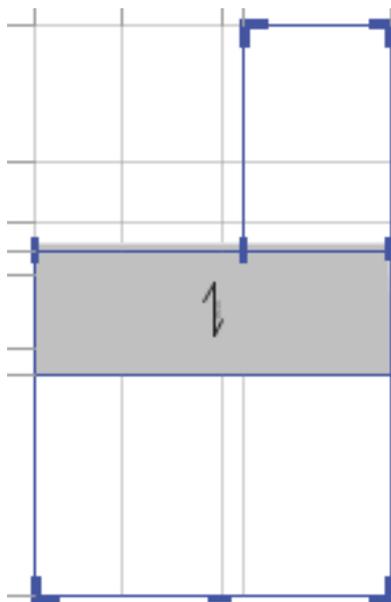


Figura 77. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 2.

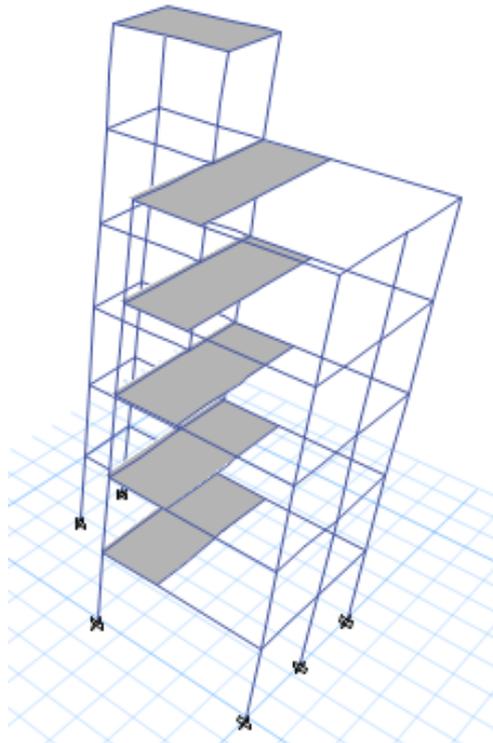


Figura 78. Vista isométrica del módulo 2.

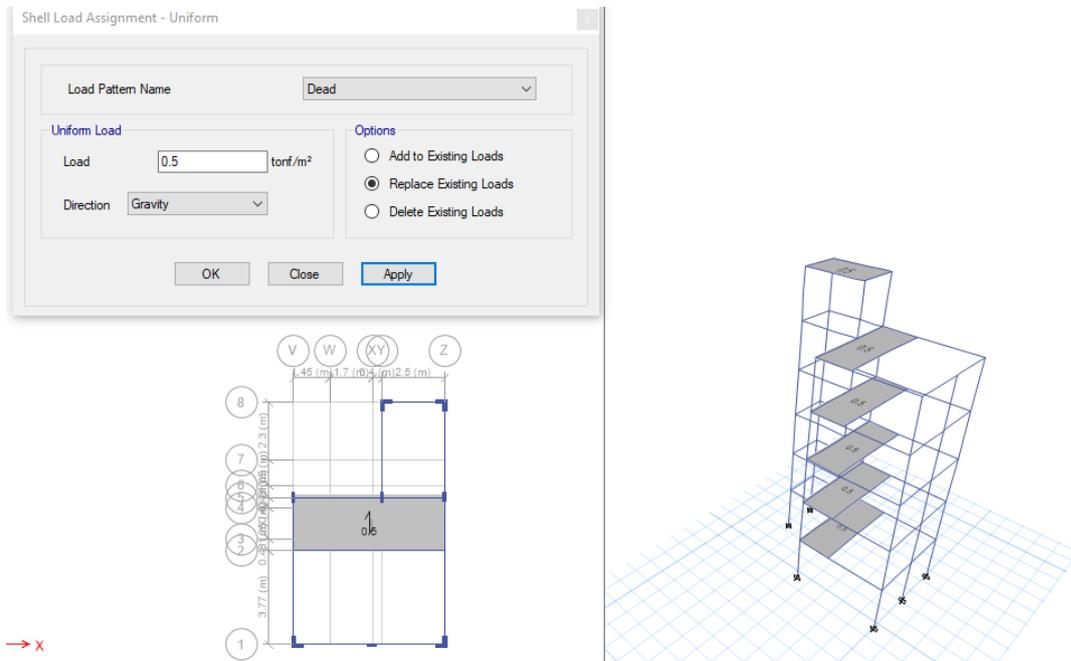


Figura 79. Ingreso de cargas muertas – módulo 2.

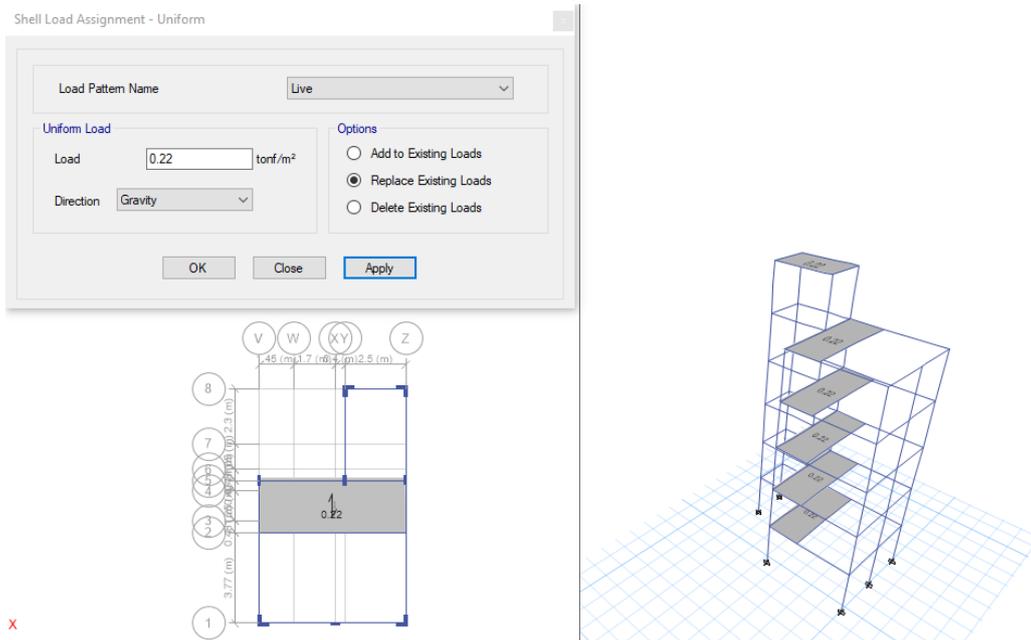


Figura 80. Ingreso de carga viva - módulo 2.

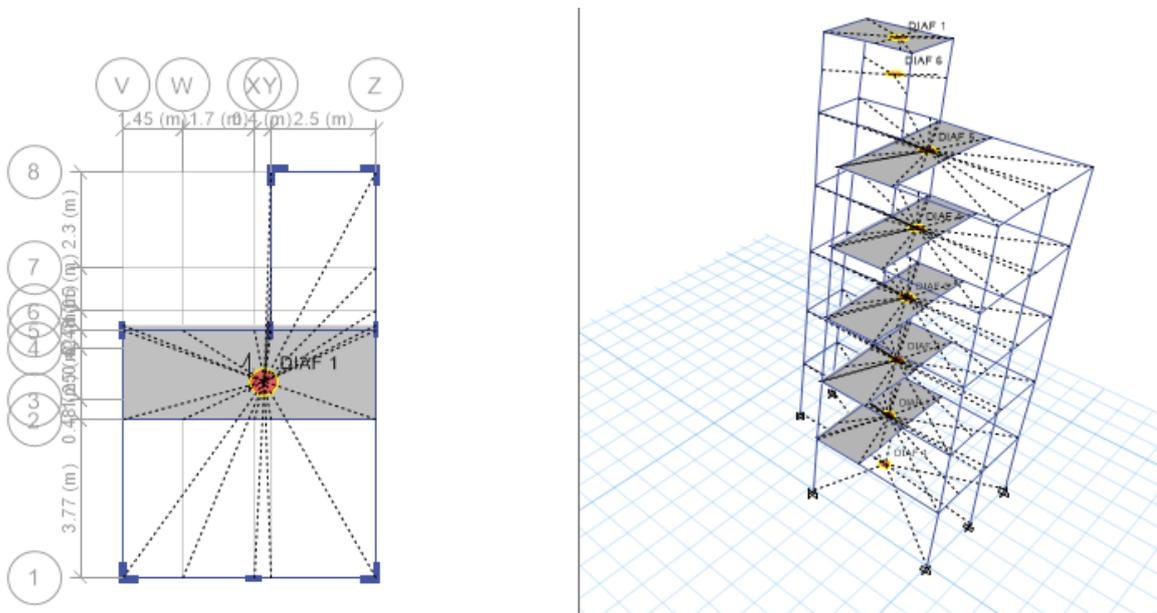


Figura 81. Asignación de diafragmas por cada nivel - módulo2.

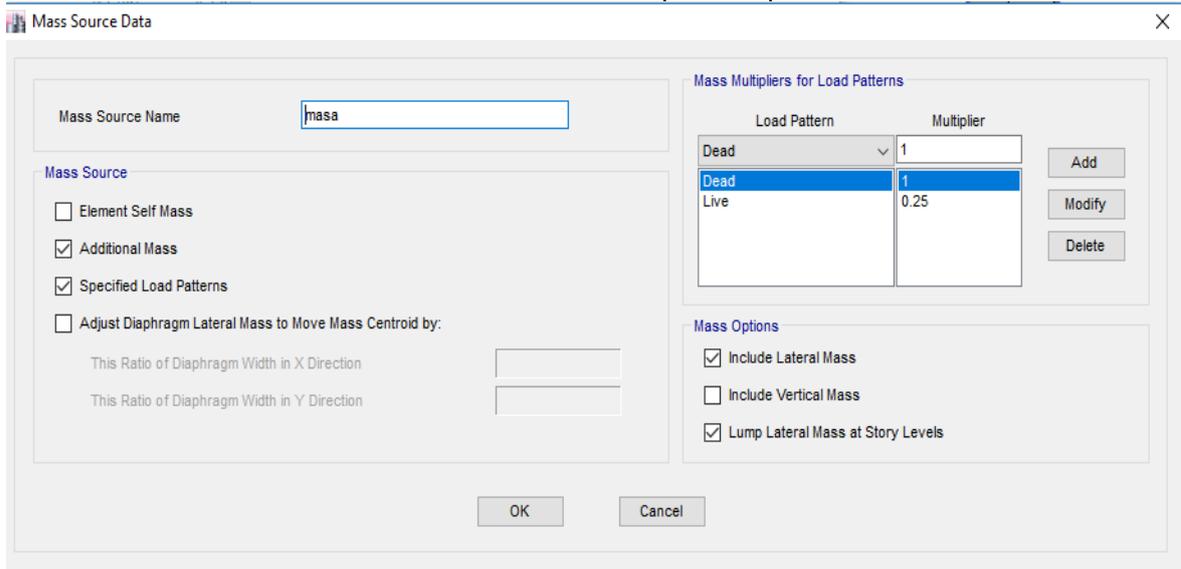


Figura 82. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 2.

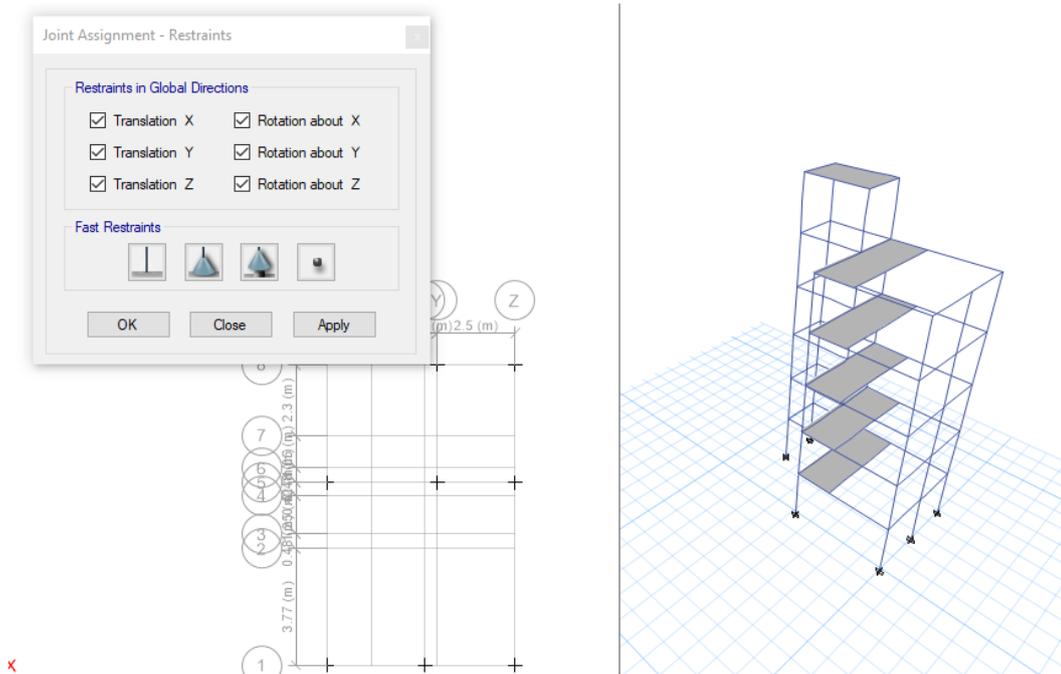
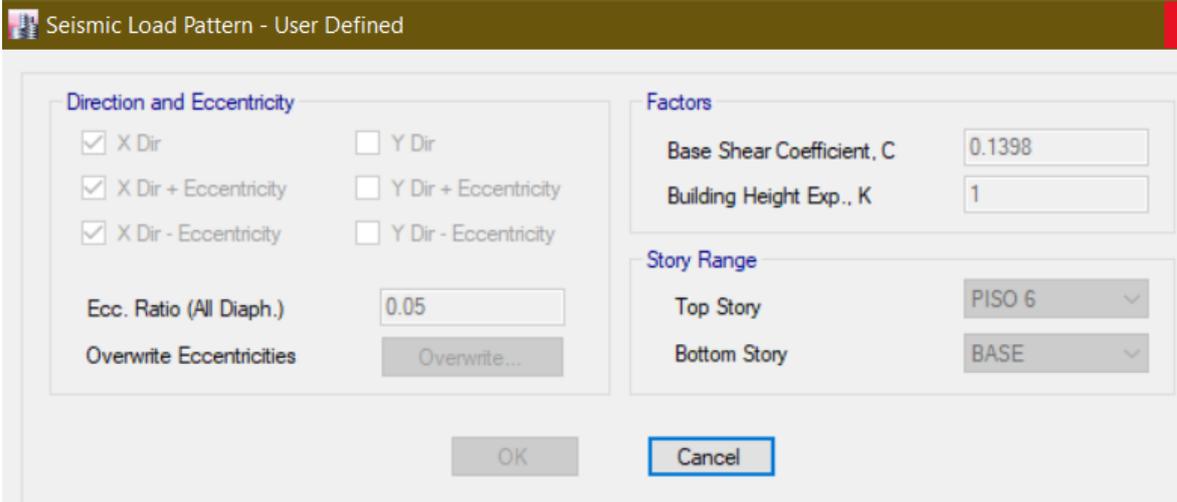


Figura 83. Asignación de empotramiento en la base – módulo 2.

## Análisis estático módulo 2

Análisis estático en dirección X con factor de escala 0.1398.



Seismic Load Pattern - User Defined

**Direction and Eccentricity**

X Dir  Y Dir

X Dir + Eccentricity  Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity  Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

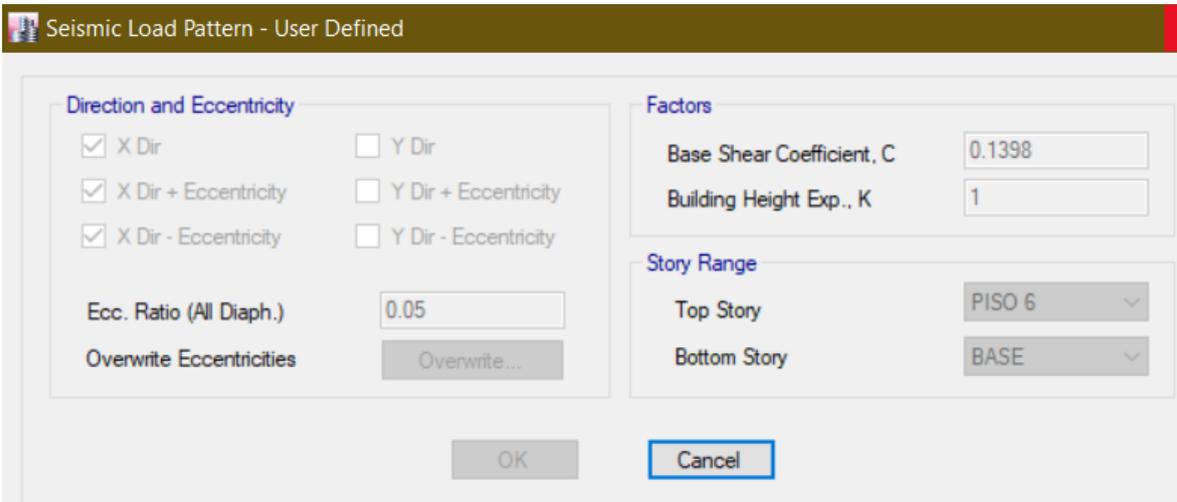
**Story Range**

Top Story

Bottom Story

Figura 84. Definición de análisis estático en X.

Análisis estático en dirección X con factor de escala 0.131.



Seismic Load Pattern - User Defined

**Direction and Eccentricity**

X Dir  Y Dir

X Dir + Eccentricity  Y Dir + Eccentricity

X Dir - Eccentricity  Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Overwrite Eccentricities

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

**Story Range**

Top Story

Bottom Story

Figura 85. Definición de análisis estático en Y.

## Análisis dinámico módulo 2

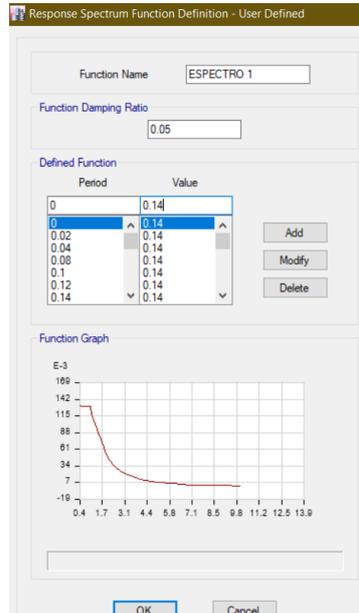
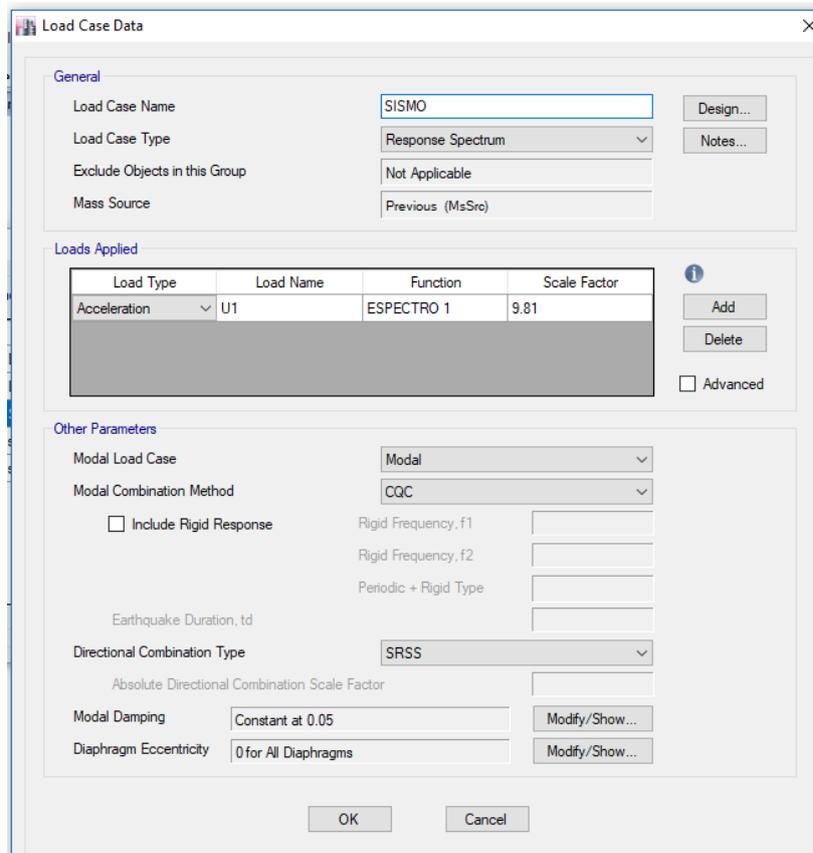
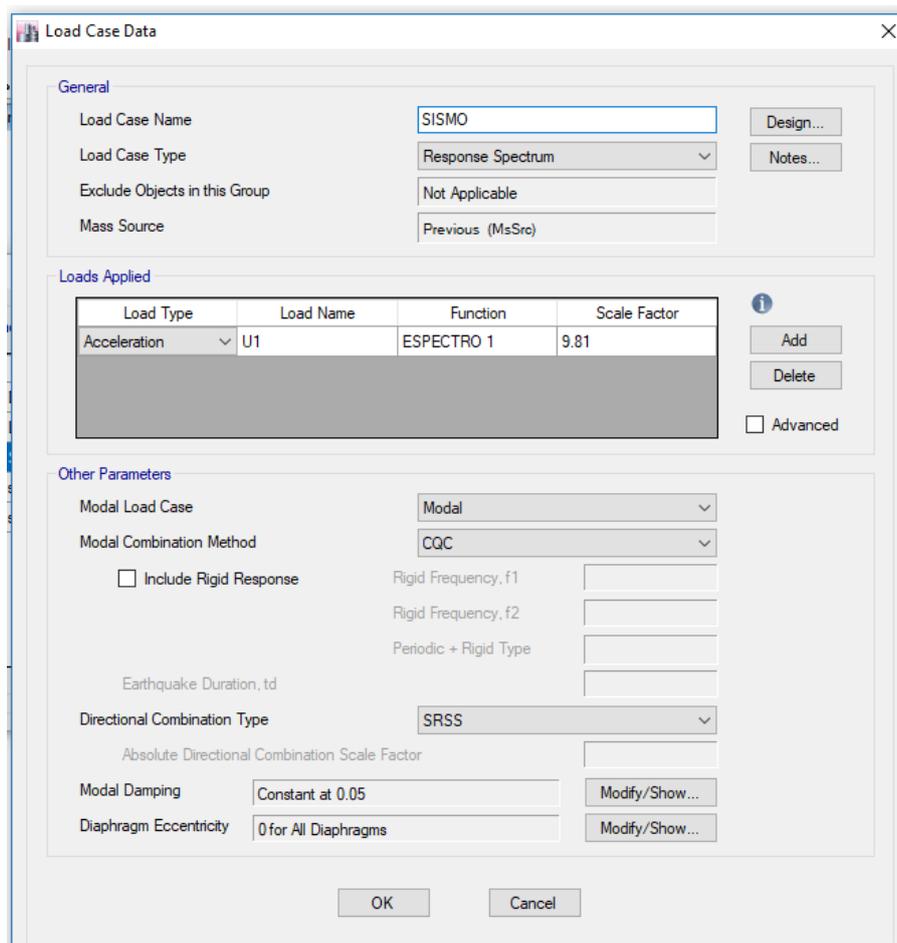


Figura 86. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – modulo 2



Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO 1	9.81

Figura 87. Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidental



**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: SISMO [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO 1	9.81

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 88. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental.

**A.3. Asignación de elementos estructurales para el módulo 3** se dibujan en el siguiente orden: columnas, vigas y losas, obteniendo:

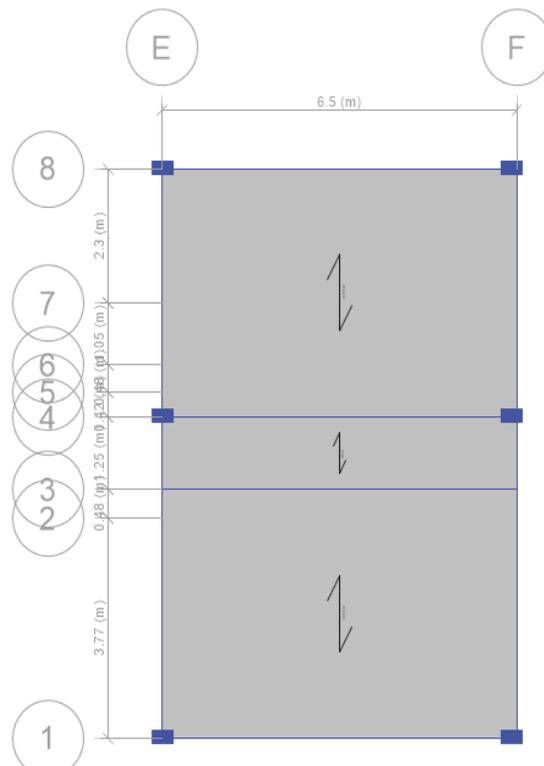


Figura 89. Asignación columnas, vigas y losas – módulo 3.



Figura 90. Vista isométrica del módulo 3.

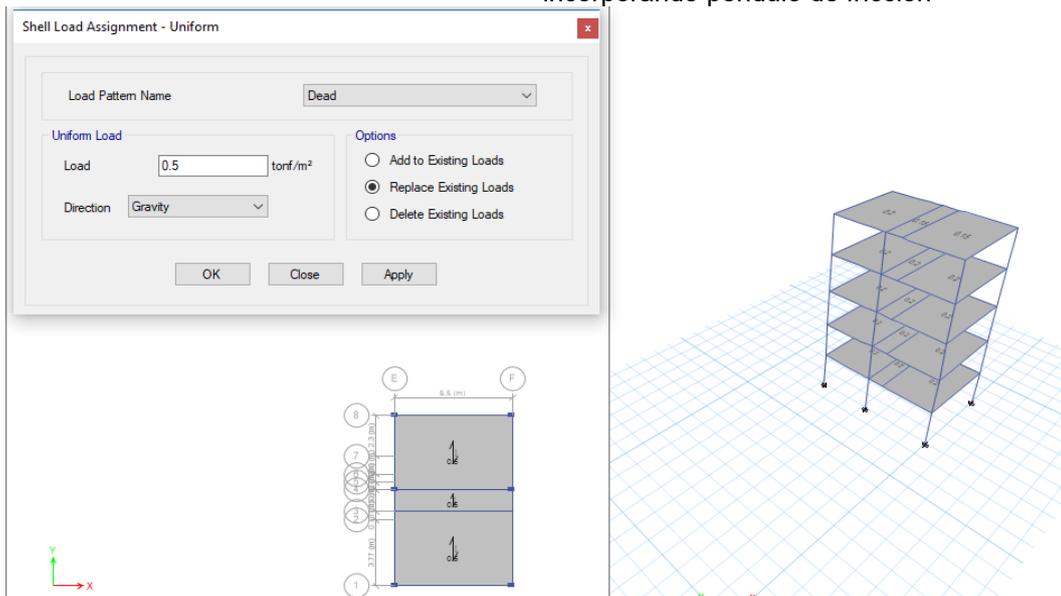


Figura 91. Ingreso de cargas muertas - módulo 3.

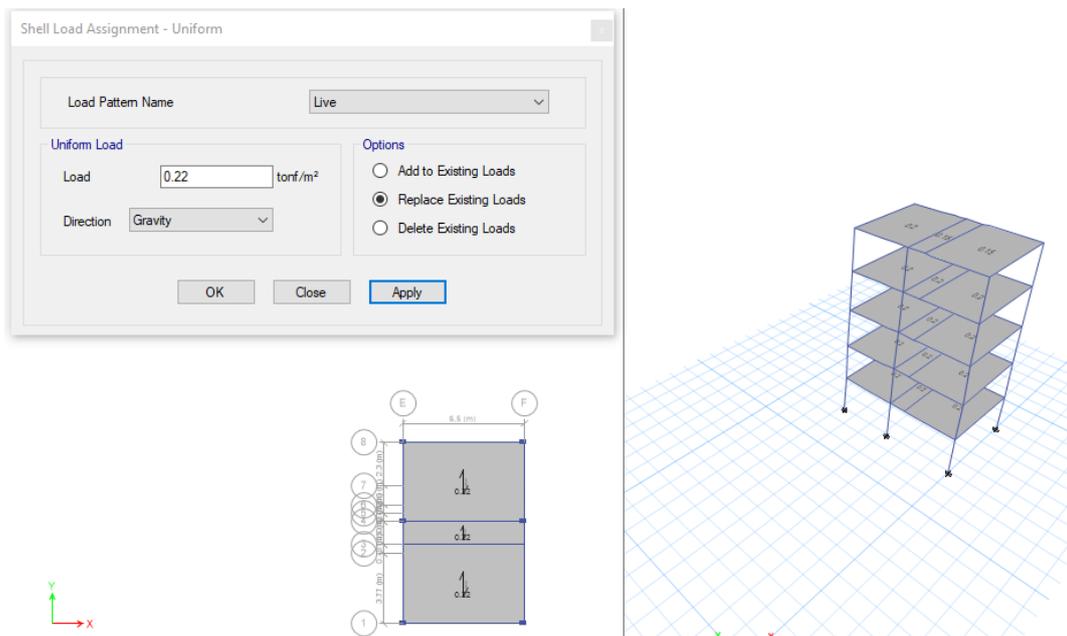


Figura 92. Ingreso de carga viva módulo 3.

“Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulo de fricción”

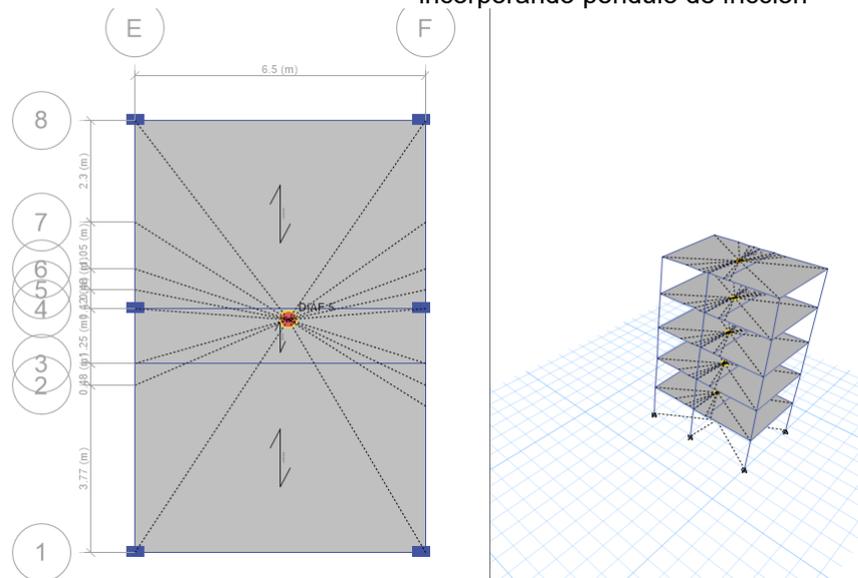


Figura 93. Asignación de diafragmas por cada nivel – módulo 3.

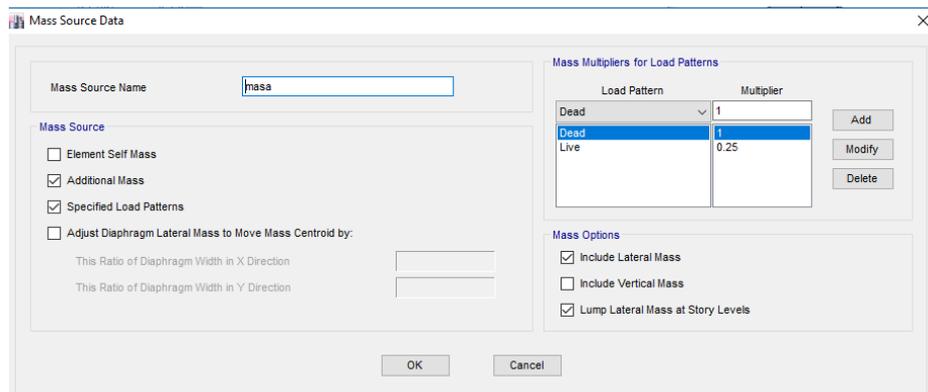


Figura 94. Definición de masas considerando 25% de carga viva para edificaciones esenciales – módulo 3.

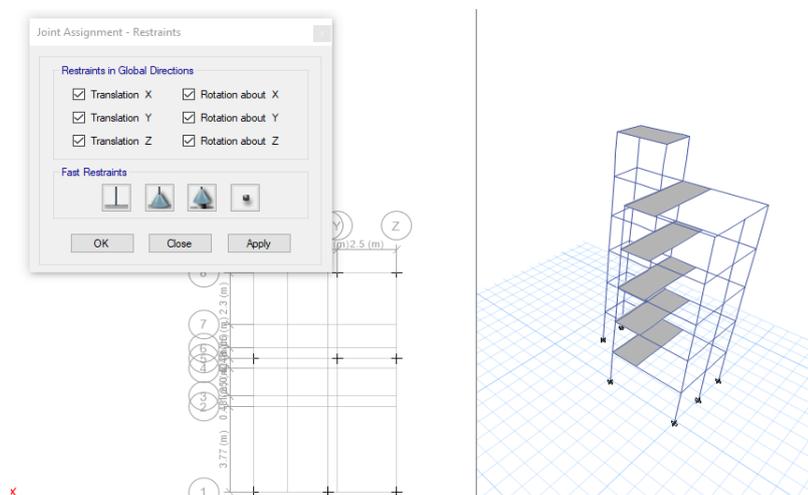
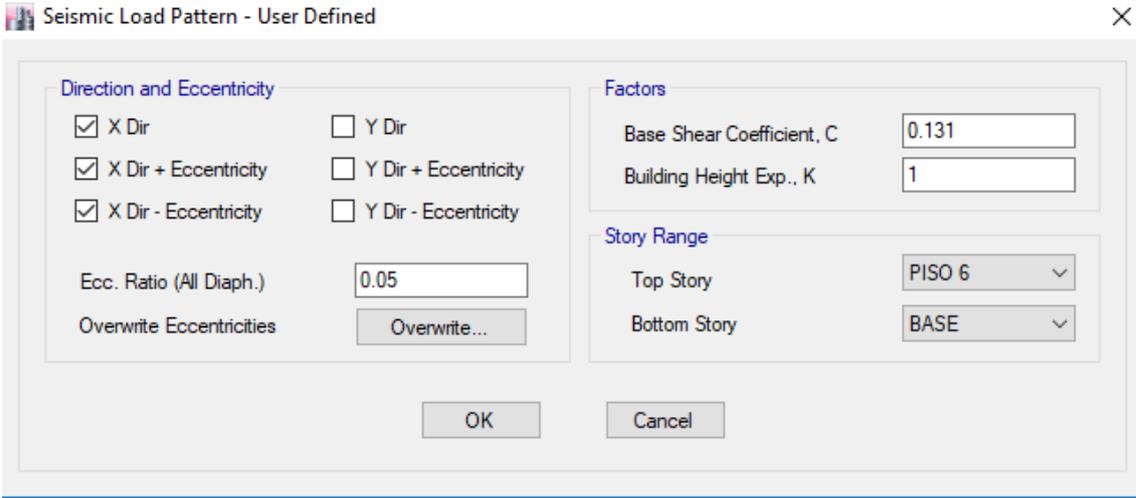


Figura 95. Asignación de empotramiento en la base – módulo 3.

### Análisis estático módulo 3



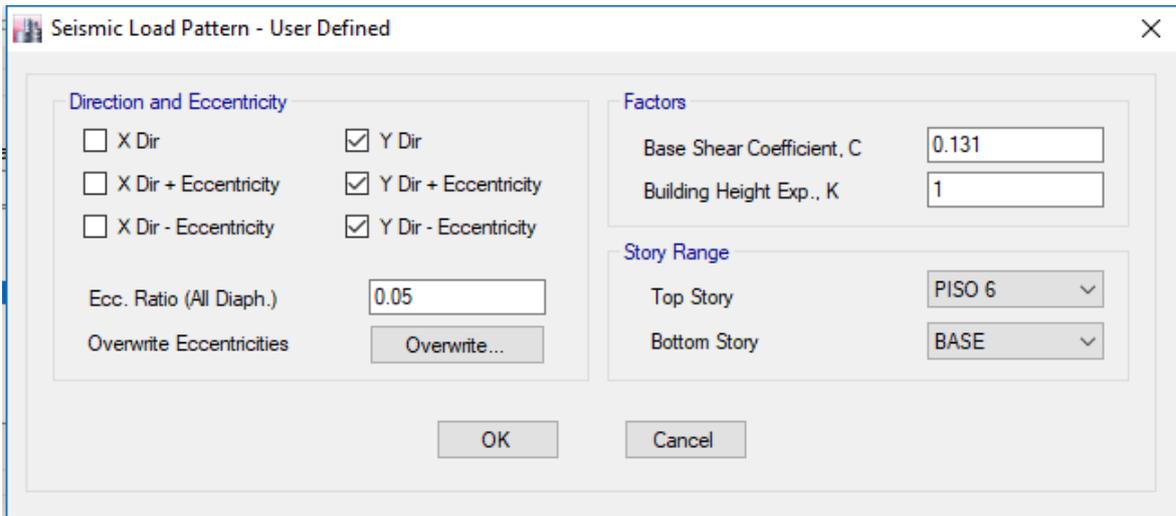
The dialog box 'Seismic Load Pattern - User Defined' is shown with the following settings:

- Direction and Eccentricity:**
  - X Dir
  - Y Dir
  - X Dir + Eccentricity
  - Y Dir + Eccentricity
  - X Dir - Eccentricity
  - Y Dir - Eccentricity
  - Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05
  - Overwrite Eccentricities: Overwrite...
- Factors:**
  - Base Shear Coefficient, C: 0.131
  - Building Height Exp., K: 1
- Story Range:**
  - Top Story: PISO 6
  - Bottom Story: BASE

Buttons: OK, Cancel

Figura 96. Definición de análisis estático en X – módulo 3.

Análisis estático en dirección Y con factor de escala 0.131.



The dialog box 'Seismic Load Pattern - User Defined' is shown with the following settings:

- Direction and Eccentricity:**
  - X Dir
  - Y Dir
  - X Dir + Eccentricity
  - Y Dir + Eccentricity
  - X Dir - Eccentricity
  - Y Dir - Eccentricity
  - Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05
  - Overwrite Eccentricities: Overwrite...
- Factors:**
  - Base Shear Coefficient, C: 0.131
  - Building Height Exp., K: 1
- Story Range:**
  - Top Story: PISO 6
  - Bottom Story: BASE

Buttons: OK, Cancel

Figura 97. Definición de análisis estático en Y – módulo 3.

### Análisis dinámico módulo 3

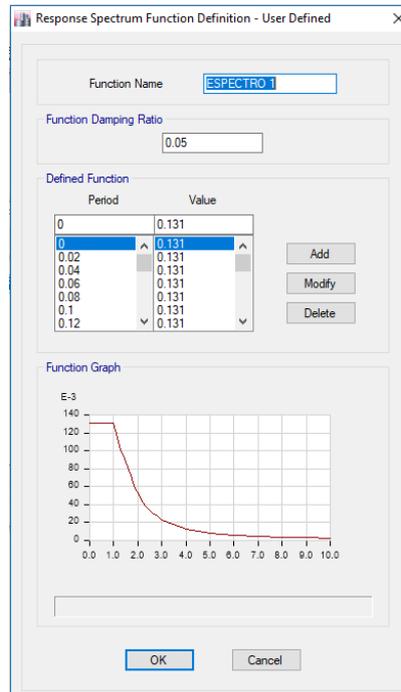


Figura 98. Análisis espectral - Espectro sísmico E-030 – módulo 3.

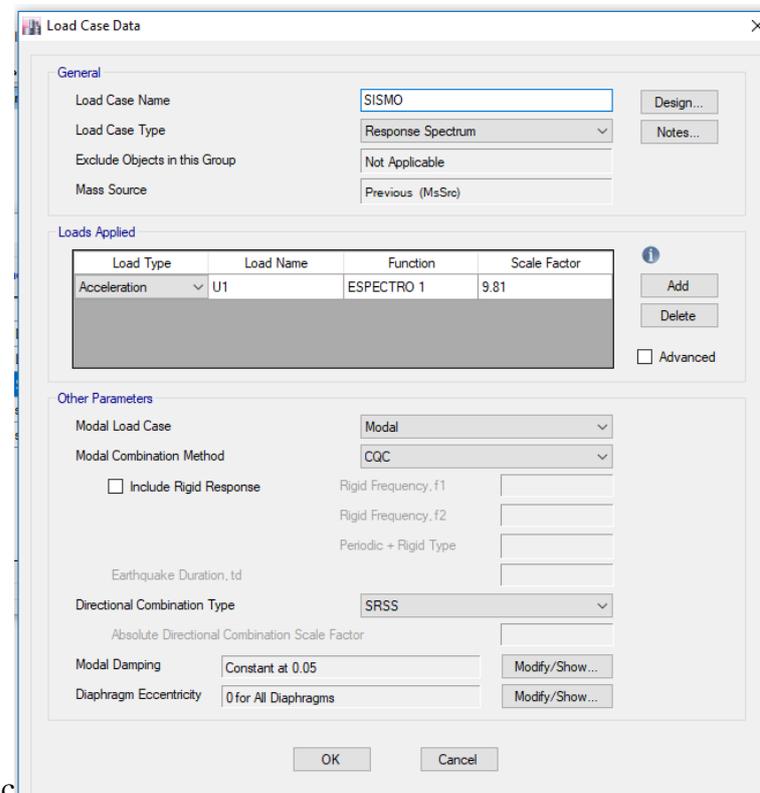
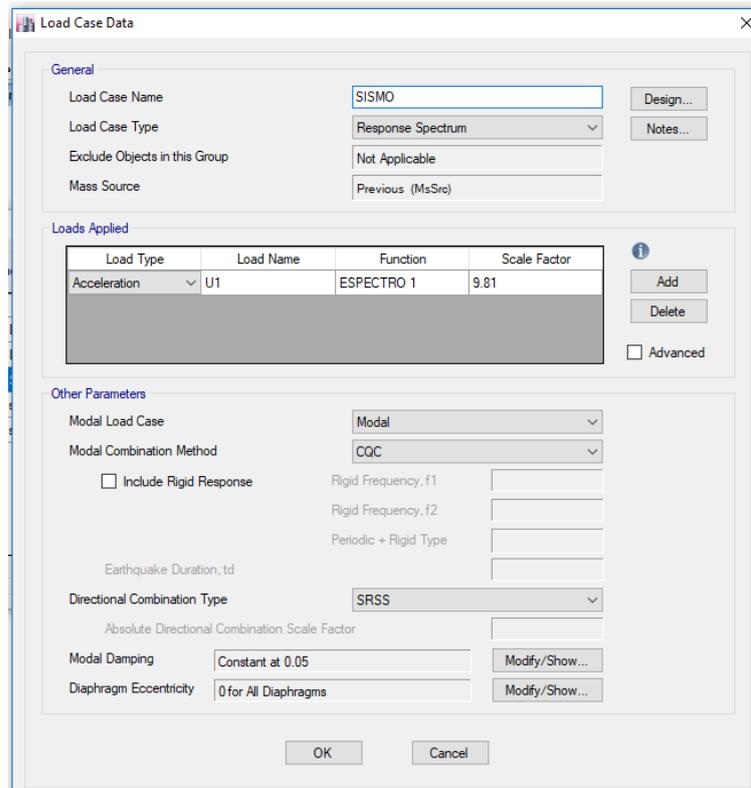


Figura 99. Espectro en dirección X con 5% de excentricidad accidental – módulo 3.



**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: SISMO [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO 1	9.81

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: SRSS

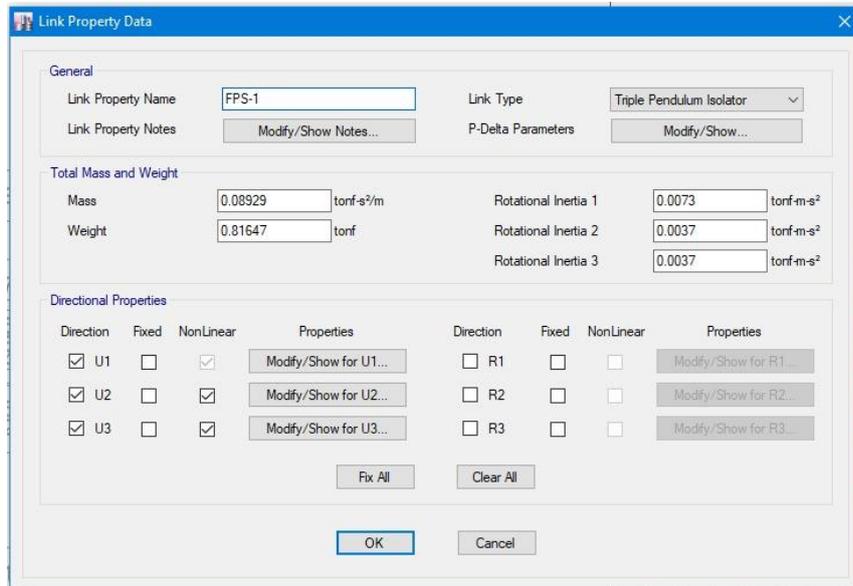
Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 100. Espectro en dirección Y con 5% de excentricidad accidental – módulo 3.



**Link Property Data**

**General**

Link Property Name: FPS-1 [Modify/Show Notes...]

Link Type: Triple Pendulum Isolator [P-Delta Parameters: Modify/Show...]

**Total Mass and Weight**

Mass: 0.08929 tonf-s<sup>2</sup>/m

Weight: 0.81647 tonf

Rotational Inertia 1: 0.0073 tonf-m-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 2: 0.0037 tonf-m-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0.0037 tonf-m-s<sup>2</sup>

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Modify/Show for U1...]	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Modify/Show for R1...]
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Modify/Show for U2...]	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Modify/Show for R2...]
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Modify/Show for U3...]	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Modify/Show for R3...]

[Fix All] [Clear All]

[OK] [Cancel]

Figura 101. Ingreso de propiedades generales del FPS.

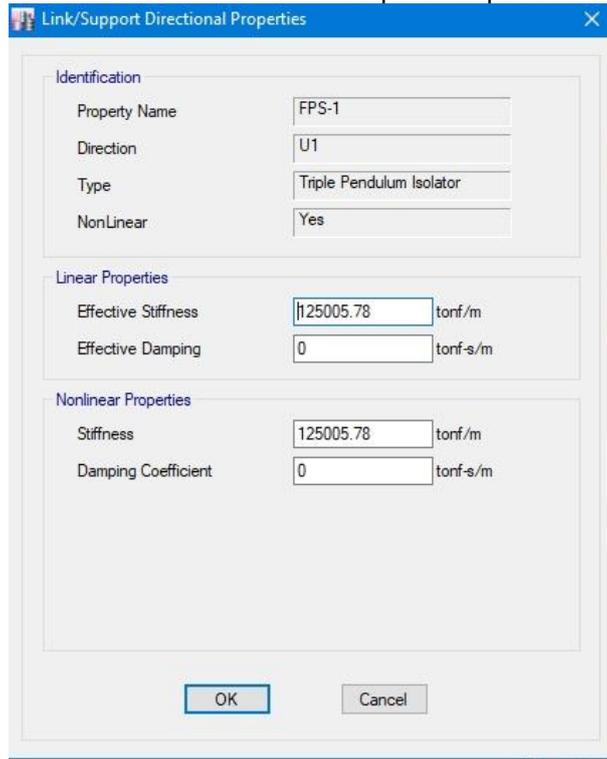


Figura 102. Ingreso de propiedades en la dirección U1.

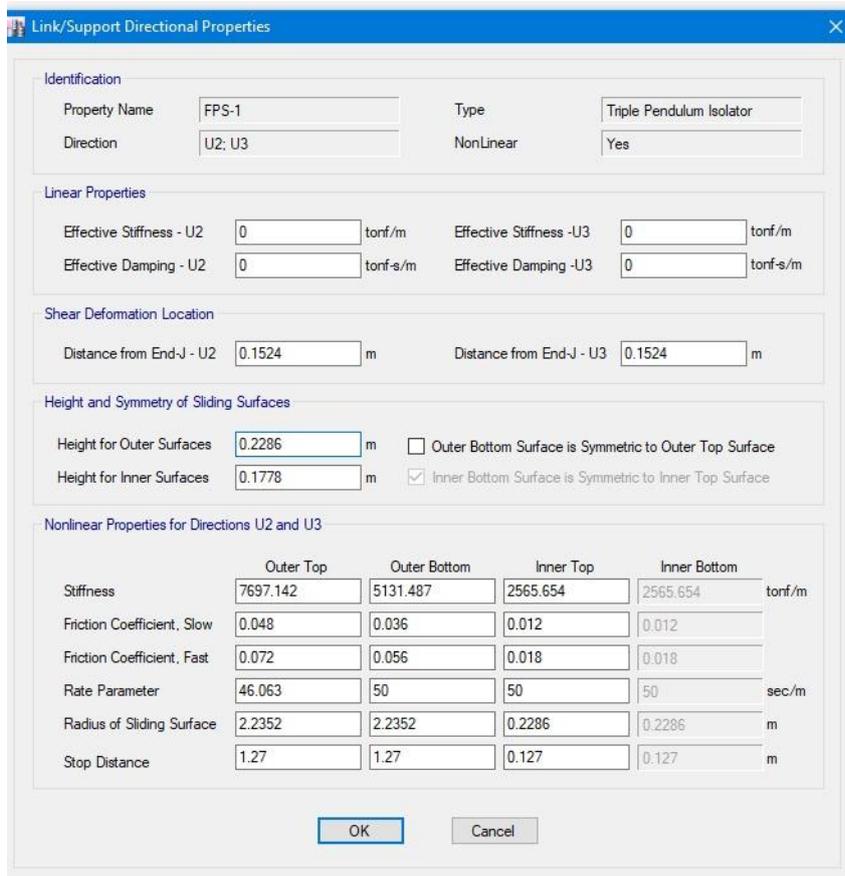


Figura 103. Ingreso de propiedades en dirección U2 y U3.

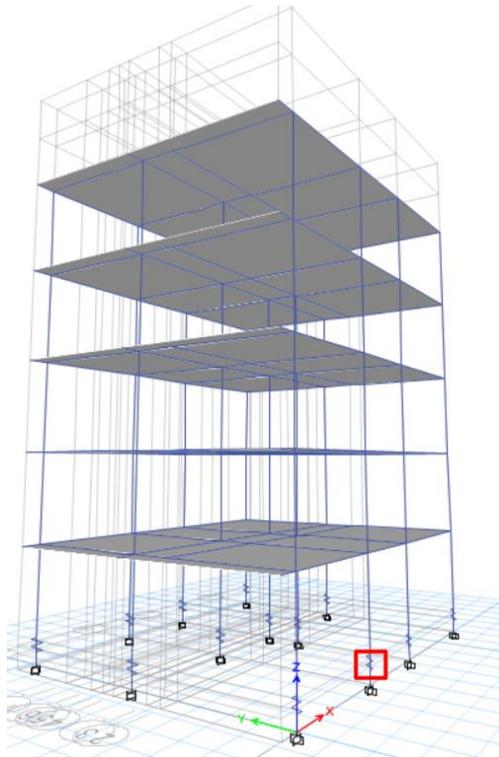


Figura 104: Estructura modelada con FPS.

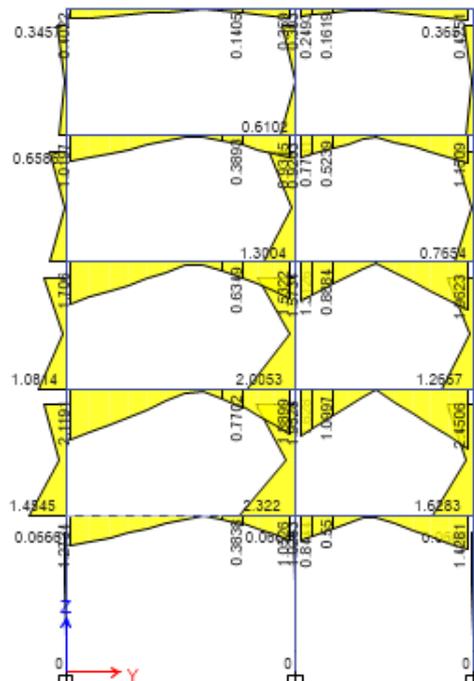


Figura 105. Pórtico A diafragma de momentos sin FPS.

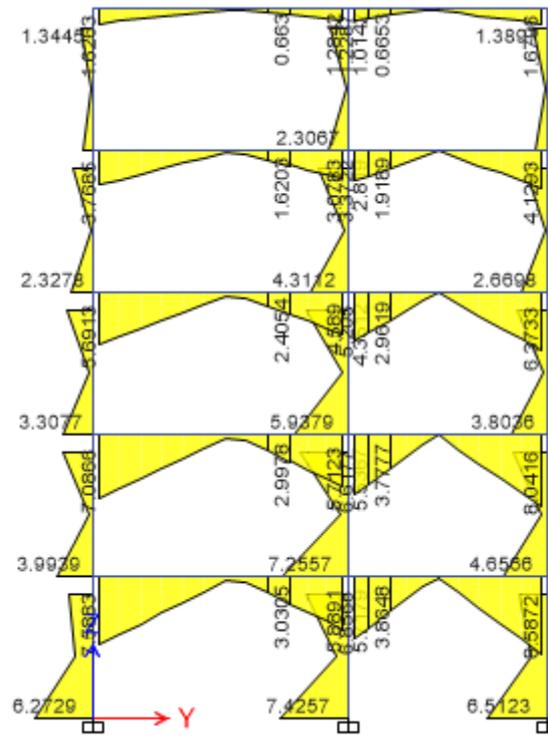


Figura 106. Pórtico A diafragma de momentos con FPS.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Estructura Sin aislamiento

El edificio dedicado a habitaciones de uso ocasional de base fija según el proyecto de Norma E.030, 2019. Primero se realizó un análisis estático y dinámico luego, usando los valores obtenidos se establecieron valores mínimos sobre los cuales se escalaron los resultados del análisis espectral. Finalmente, se evaluaron las variables principales que definen el comportamiento de una estructura y su contenido: cortantes, deformaciones laterales y aceleraciones.

#### 3.1.1 Resultados del módulo 1 – sin péndulos de fricción (FPS):

##### 3.1.1.1 Periodo Natural:

*Tabla 6.*

Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 1.

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	1.195	-	0.994	-	0.006
Modal	2	0.901	0.275	0.004	-	0.72
Modal	3	0.873	0.725	0.001	-	0.274
Modal	4	0.393	-	0.995	-	0.005
Modal	5	0.293	0.173	0.004	-	0.823
Modal	6	0.282	0.827	0.001	-	0.172
Modal	7	0.232	-	0.996	-	0.004
Modal	8	0.17	0.091	0.013	-	0.896
Modal	9	0.168	0.001	0.988	-	0.01
Modal	10	0.161	0.907	-	-	0.092
Modal	11	0.138	-	0.998	-	0.002
Modal	12	0.12	0.066	0.003	-	0.932

### 3.1.1.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máximo en dirección

X es de 0.032358 m.

Tabla 7.

Deformación lateral en dirección X – módulo 1.

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.032358
Piso 4	D4	0.029182
Piso 3	D3	0.023446
Piso 2	D2	0.015601
Piso 1	D1	0.006607

- Deformación lateral en Y: la deformación lateral máximo en dirección

Y será de 0.052268 m.

Tabla 8.

Deformación lateral en dirección Y – módulo 1.

Piso	Diafragma	UY (m)
Piso 5	D5	0.052268
Piso 4	D4	0.047475
Piso 3	D3	0.038618
Piso 2	D2	0.026336
Piso 1	D1	0.011835

### 3.1.1.3 Derivas de entrepiso:

Tabla 9.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 1.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.003280
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.005829
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.006891
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.006004
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.006607

Tabla 10.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 1

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift Y
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005103
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005195
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.006546
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.004696
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.001835

### 3.1.1.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

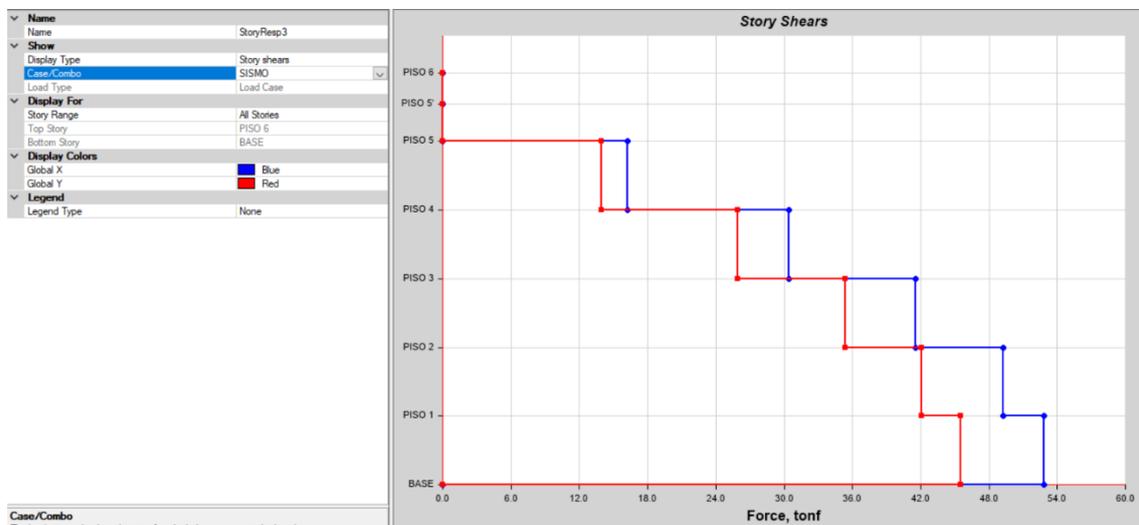


Figura 107. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

### 3.1.2 Resultados del módulo 2 – Sin péndulos de fricción (FPS):

#### 3.1.2.1 Periodo Natural:

Tabla 11.  
Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 2.

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	0.736	0.316	0.645	-	0.039
Modal	2	0.725	0.613	0.354	-	0.033
Modal	3	0.490	0.208	0.029	-	0.763
Modal	4	0.237	0.794	0.074	-	0.132
Modal	5	0.224	0.047	0.910	-	0.043
Modal	6	0.176	0.243	0.018	-	0.739
Modal	7	0.154	0.481	0.050	-	0.468
Modal	8	0.121	0.067	0.877	-	0.056
Modal	9	0.106	0.542	0.059	-	0.399
Modal	10	0.085	0.396	0.203	-	0.401
Modal	11	0.080	0.195	0.732	-	0.073
Modal	12	0.065	0.520	0.048	-	0.432

#### 3.1.2.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máximo en dirección

X es de 0.045928 m.

Tabla 12.  
Deformación lateral en dirección X – módulo 2.

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 6	D6	0.045928
Piso 5	D5	0.042472
Piso 4	D4	0.037798
Piso 3	D3	0.031727
Piso 2	D2	0.024281
Piso 1	D1	0.014851

- Deformación lateral en Y: la deformación lateral máximo en dirección

Y será de 0.07361 m.

Tabla 13.

Deformación lateral en dirección Y – módulo 2.

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 6	D6	0.037361
Piso 5	D5	0.038766
Piso 4	D4	0.035390
Piso 3	D3	0.030347
Piso 2	D2	0.023451
Piso 1	D1	0.014152

### 3.1.2.3 Derivas de entrepiso:

Tabla 14.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 2.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 6	SISMO EN X	Max Drift X	0.001698
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.004434
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.005593
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.006299
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.006098
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.003480

Tabla 15.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 2.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift Y
Piso 6	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.000725
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.003310
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.004666
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005657
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005651
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.003164

### 3.1.2.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

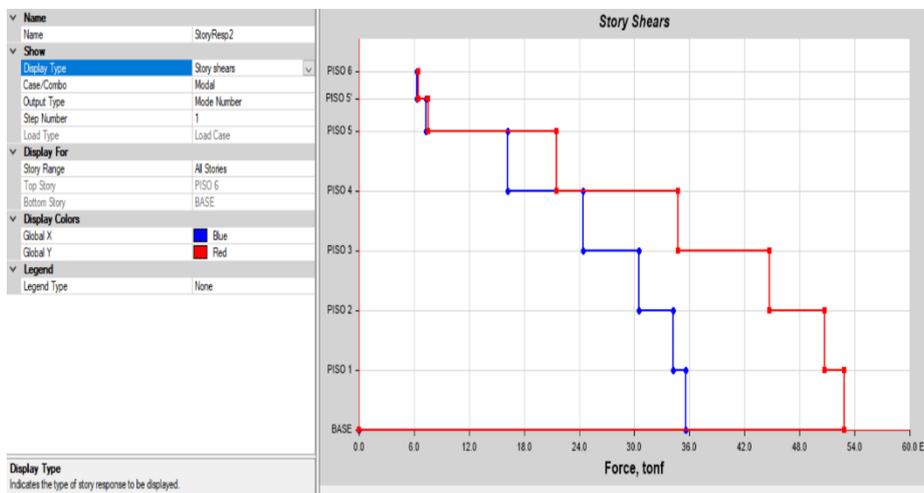


Figura 108. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

### 3.1.3 Resultados del módulo 3 – sin péndulos de fricción (FPS):

#### 3.1.3.1 Periodo Natural:

Tabla 16.

Periodos de la estructura sin aislamiento – módulo 2

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	1.313	0.997	-	-	0.003
Modal	2	1.236	-	1.000	-	-
Modal	3	1.098	0.003	-	-	0.997
Modal	4	0.405	-	1.000	-	-
Modal	5	0.393	0.991	-	-	0.009
Modal	6	0.344	0.009	-	-	0.991
Modal	7	0.238	-	1.000	-	-
Modal	8	0.200	0.946	-	-	0.054
Modal	9	0.187	0.054	-	-	0.946
Modal	10	0.171	-	1.000	-	-
Modal	11	0.141	-	1.000	-	-
Modal	12	0.126	0.646	-	-	0.354

### 3.1.3.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máxima en dirección X es de 0.058163cm.

*Tabla 17.*  
Deformación lateral en dirección X – módulo 3

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.058163
Piso 4	D4	0.050838
Piso 3	D3	0.039326
Piso 2	D2	0.024488
Piso 1	D1	0.009001

- Deformación lateral en Y: la deformación lateral máxima en dirección Y será de 0.0498390 m.

*Tabla 18.*  
Deformación lateral en dirección Y – módulo 3

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.049839
Piso 4	D4	0.045315
Piso 3	D3	0.036907
Piso 2	D2	0.025173

### 3.1.3.3 Derivas de entrepiso:

*Tabla 19.*  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 3.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.006614
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.001742
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.004941
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.005507
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.006001

Tabla 20.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 3.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.004785
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.006649
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.001859
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.003924
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.001280

### 3.1.3.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

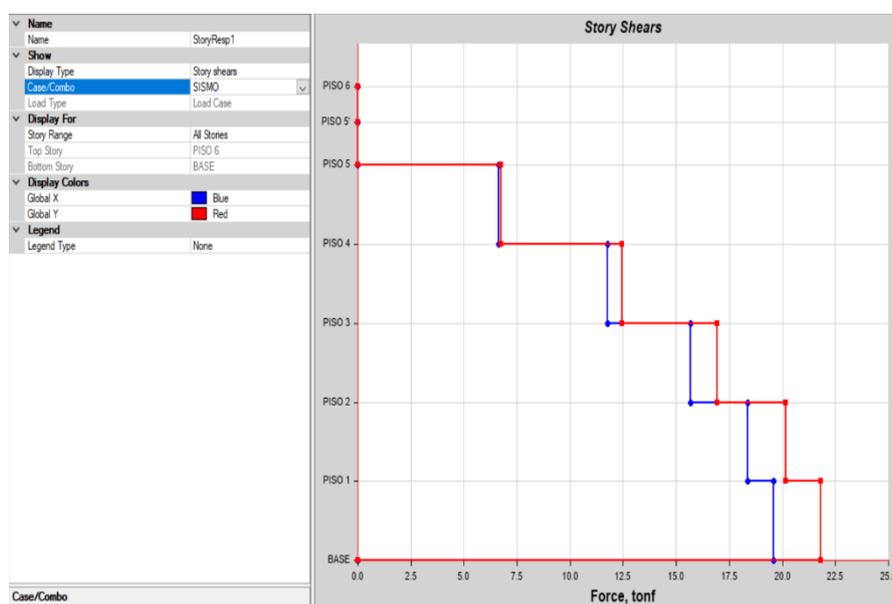


Figura 109. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

## 3.2 Estructura con aislamiento

Se analizó el edificio con una base aislada utilizando péndulos de fricción (FPS) según el proyecto de Norma E.030, 2019. Primero se realizó un análisis estático y dinámico para luego, usando los valores obtenidos se establecieron valores mínimos sobre los cuales se escalaron los resultados del análisis espectral. Finalmente, se

evaluaron las variables principales que definen el comportamiento de una estructura

y su contenido: derivas, cortantes y deformación lateral.

### 3.2.1 Resultados del módulo 1 – Con FPS:

#### 3.2.1.1 Periodo Natural:

Tabla 21.  
Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 1

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	1.6510	-	0.9950	-	0.0050
Modal	2	1.2360	0.1350	0.0050	-	0.8600
Modal	3	1.1850	0.8630	0.0010	-	0.1370
Modal	4	0.4810	-	0.9950	-	0.0050
Modal	5	0.3580	0.1770	0.0040	-	0.8180
Modal	6	0.3450	0.8140	0.0010	-	0.1850
Modal	7	0.2600	-	0.9950	-	0.0050
Modal	8	0.1910	0.1000	0.0040	-	0.8950
Modal	9	0.1820	0.8940	0.0010	-	0.1060
Modal	10	0.1770	-	0.9960	-	0.0040
Modal	11	0.1410	-	0.9980	-	0.0020
Modal	12	0.1270	0.0700	0.0030	-	0.9270

#### 3.2.1.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máxima en dirección

X es de 0.047131 m.

Tabla 22.  
Deformación lateral en dirección X – módulo 1

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.047131
Piso 4	D4	0.044564
Piso 3	D3	0.039802
Piso 2	D2	0.032888
Piso 1	D1	0.022921

- Deformación lateral en Y: la deformación lateral máxima en dirección

Y será de 0.065849 m.

*Tabla 23.*  
Deformación lateral en dirección Y – módulo 1

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.065849
Piso 4	D4	0.062707
Piso 3	D3	0.056710
Piso 2	D2	0.047954
Piso 1	D1	0.035312

### 3.2.1.3 Derivas de entrepiso:

*Tabla 24.*  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo 1.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.002627
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.004830
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.006955
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.009977
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.022744

*Tabla 25.*  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 1.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift Y
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift X	0.003323
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift X	0.006238
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift X	0.008972
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift X	0.012829
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift X	0.035012

### 3.2.1.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

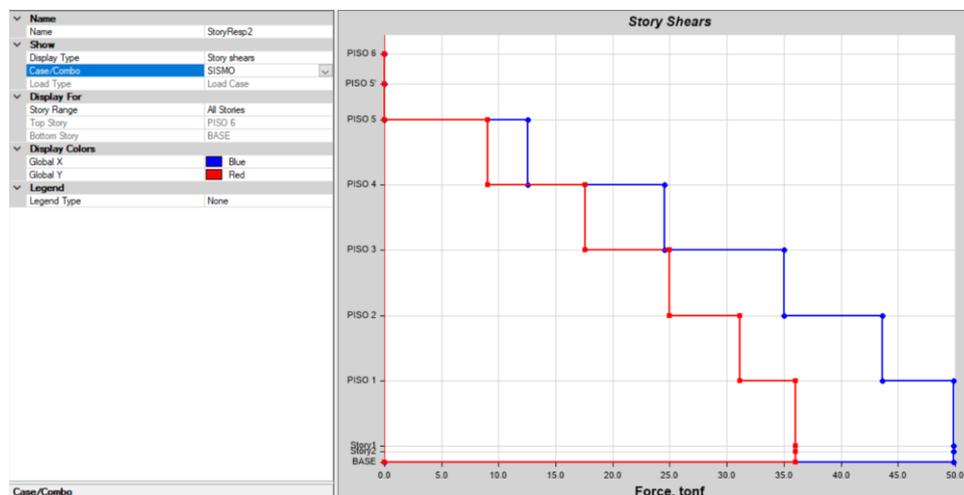


Figura 110. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

### 3.2.2 Resultados del módulo 2-Con FPS:

#### 3.2.2.1 Periodo Natural:

El periodo natural de la estructura es de 0.972 seg.

Tabla 26.

Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 2.

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	0.972	0.05	0.935	-	0.015
Modal	2	0.938	0.888	0.062	-	0.051
Modal	3	0.655	0.17	0.025	-	0.805
Modal	4	0.283	0.72	0.197	-	0.083
Modal	5	0.274	0.168	0.789	-	0.043
Modal	6	0.193	0.016	0.051	-	0.933
Modal	7	0.182	0.684	0.005	-	0.311
Modal	8	0.141	0.036	0.913	-	0.052
Modal	9	0.122	0.54	0.029	-	0.431
Modal	10	0.115	0.002	0.157	-	0.841
Modal	11	0.107	0.005	0.96	-	0.035
Modal	12	0.103	0.05	0.796	-	0.154

### 3.2.2.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máxima en dirección X es de 0.045928 m.

Tabla 27.  
Deformación lateral en dirección X – módulo 1

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 6	D6	0.045928
Piso 5	D5	0.042472
Piso 4	D4	0.037798
Piso 3	D3	0.031727
Piso 2	D2	0.024281
Piso 1	D1	0.014851

- Deformación lateral en Y: El Deformación lateral máximo en dirección Y será de 0.038570 m.

Tabla 28.  
Deformación lateral en dirección Y– módulo 2.

Piso	Diafragma	UY (m)
Piso 6	D6	0.045928
Piso 5	D5	0.042472
Piso 4	D4	0.037798
Piso 3	D3	0.031727
Piso 2	D2	0.024281
Piso 1	D1	0.014851

### 3.2.2.3 Derivas de entrepiso:

Tabla 29.  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo2.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 6	SISMO EN X	Max Drift X	0.001860
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.004722
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.006108
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.007463
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.009433
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.014733

Tabla 30.

Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo 2.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 6	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.000746
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.003437
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005088
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.006917
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.009304
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.014015

### 3.2.2.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

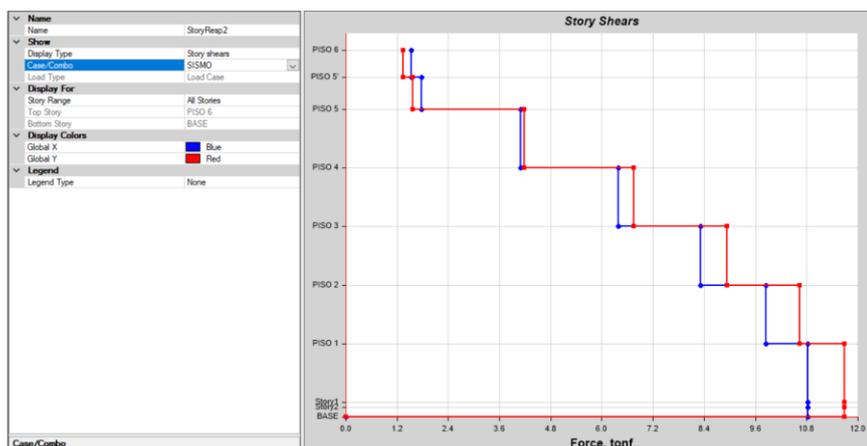


Figura 111. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

### 3.2.3 Resultados del módulo 3 - con FPS:

#### 3.2.3.1 Periodo Natural:

El periodo natural de la estructura es de 1.765 seg.

Tabla 31.

Periodos de la estructura con aislamiento – módulo 3.

Case	Mode	Periodo (s)	UX	UY	UZ	RZ
Modal	1	1.765	0.996	-	-	0.004
Modal	2	1.703	-	1	-	-
Modal	3	1.496	0.004	-	-	0.996
Modal	4	0.496	-	1	-	-
Modal	5	0.486	0.992	-	-	0.008
Modal	6	0.423	0.007	-	-	0.993
Modal	7	0.267	-	1	-	-
Modal	8	0.233	0.964	-	-	0.036
Modal	9	0.215	0.034	-	-	0.966
Modal	10	0.181	-	1	-	-
Modal	11	0.143	-	1	-	-
Modal	12	0.138	0.768	-	-	0.232

#### 3.2.3.2 Deformación lateral:

- Deformación lateral en X: la deformación lateral máxima en dirección

X es de 0.067728 m.

Tabla 32.

Deformación lateral en dirección X – módulo 3

Piso	Diafragma	UX (m)
Piso 5	D5	0.067728
Piso 4	D4	0.062698
Piso 3	D3	0.054462
Piso 2	D2	0.042670
Piso 1	D1	0.026272

- Deformación lateral en Y: la deformación lateral máxima en dirección

Y será de 0.060688 m.

Tabla 33.  
Deformación lateral en dirección Y – módulo 3.

Piso	Diafragma	UY (m)
Piso 5	D5	0.060688
Piso 4	D4	0.057849
Piso 3	D3	0.052377
Piso 2	D2	0.044298
Piso 1	D1	0.032540

### 3.2.3.3 Derivas de entrepiso:

Tabla 34.  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección X – módulo3.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift X
Piso 5	SISMO EN X	Max Drift X	0.005313
Piso 4	SISMO EN X	Max Drift X	0.008503
Piso 3	SISMO EN X	Max Drift X	0.011930
Piso 2	SISMO EN X	Max Drift X	0.016426
Piso 1	SISMO EN X	Max Drift X	0.026137

Tabla 35.  
Derivas máximas de todos los pisos en dirección Y – módulo3.

Piso	Load Case/Combo	Item	Max Drift Y
Piso 5	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.002993
Piso 4	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.005653
Piso 3	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.008195
Piso 2	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.011787
Piso 1	SISMO EN Y	Max Drift Y	0.032267

### 3.2.3.4 Fuerzas por piso:

#### Análisis Dinámico - Dirección XX y YY:

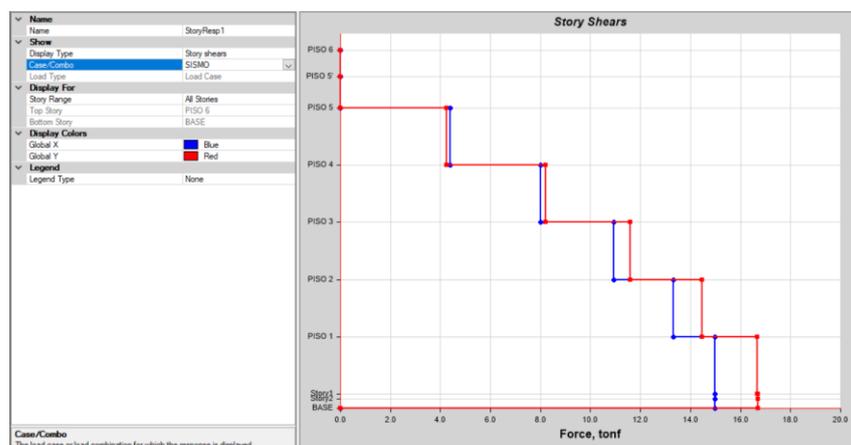


Figura 112. Fuerzas del análisis dinámico en XX y YY.

## 3.2.4 RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO SIN FPS Y CON FPS.

### 3.2.4.1 Periodos naturales

Tabla 36.

Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-modulo1.

Mode	Módulo 1 sin FPS	Módulo 1 con FPS	$\Delta$ tiempo (seg)
	Period	Period	
1	1.195	1.651	0.456
2	0.901	1.236	0.335
3	0.873	1.185	0.312
4	0.393	0.481	0.088
5	0.293	0.358	0.065
6	0.282	0.345	0.063
7	0.232	0.260	0.028
8	0.170	0.191	0.021
9	0.168	0.182	0.014
10	0.161	0.177	0.016
11	0.138	0.141	0.003
12	0.120	0.127	0.007

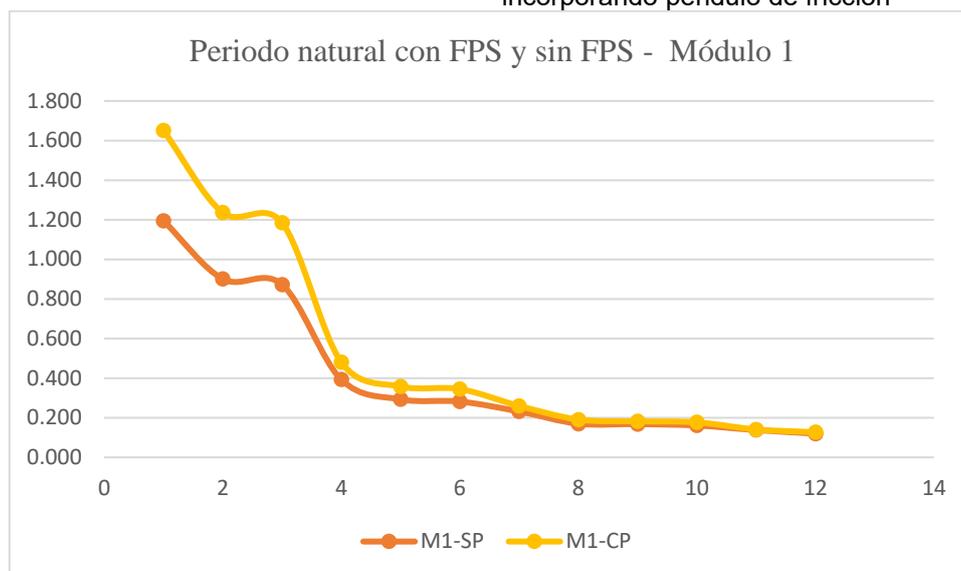


Figura 113. Comparación de los periodos del módulo 1 con FPS y sin FPS.

Tabla 37.

Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-modulo 2.

Mode	Módulo 2	Módulo 2	$\Delta$ tiempo (seg)
	sin FPS	con FPS	
	Period	Period	
1	0.736	0.972	0.236
2	0.725	0.938	0.213
3	0.490	0.655	0.165
4	0.237	0.283	0.046
5	0.224	0.274	0.050
6	0.176	0.193	0.017
7	0.154	0.182	0.028
8	0.121	0.141	0.020
9	0.106	0.122	0.016
10	0.085	0.115	0.030
11	0.080	0.107	0.027
12	0.065	0.103	0.038

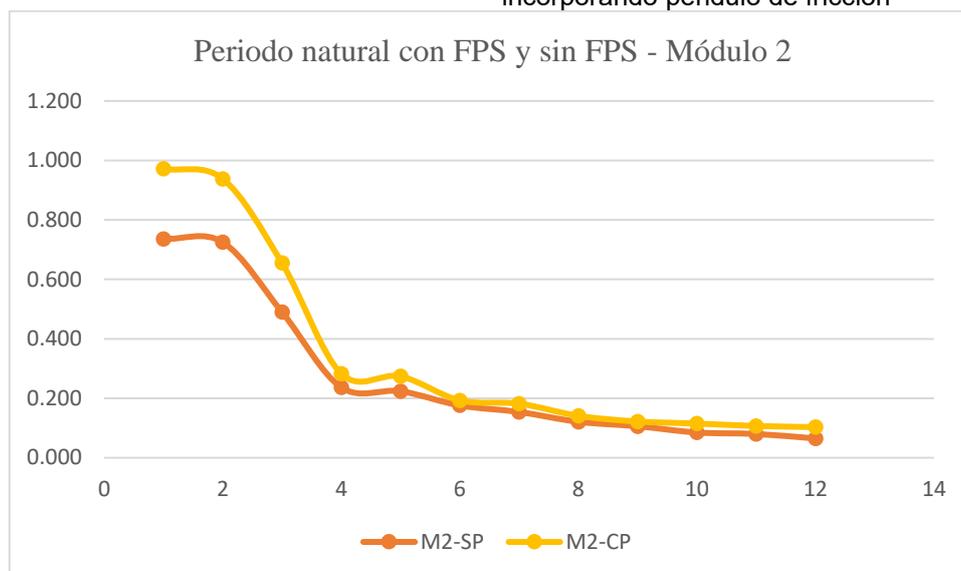


Figura 114. Comparación de los periodos del módulo 2 con FPS y sin FPS.

Tabla 38.

Comparación de los periodos naturales para la estructura con FPS y sin FPS-  
modulo 3.

Mode	Módulo 3 sin FPS	Módulo 3 con FPS	$\Delta$ tiempo (seg)
	Period	Period	
1	1.313	1.765	0.452
2	1.236	1.703	0.467
3	1.098	1.496	0.398
4	0.405	0.496	0.091
5	0.393	0.486	0.093
6	0.344	0.423	0.079
7	0.238	0.267	0.029
8	0.200	0.233	0.033
9	0.187	0.215	0.028
10	0.171	0.181	0.010
11	0.141	0.143	0.002
12	0.126	0.138	0.012

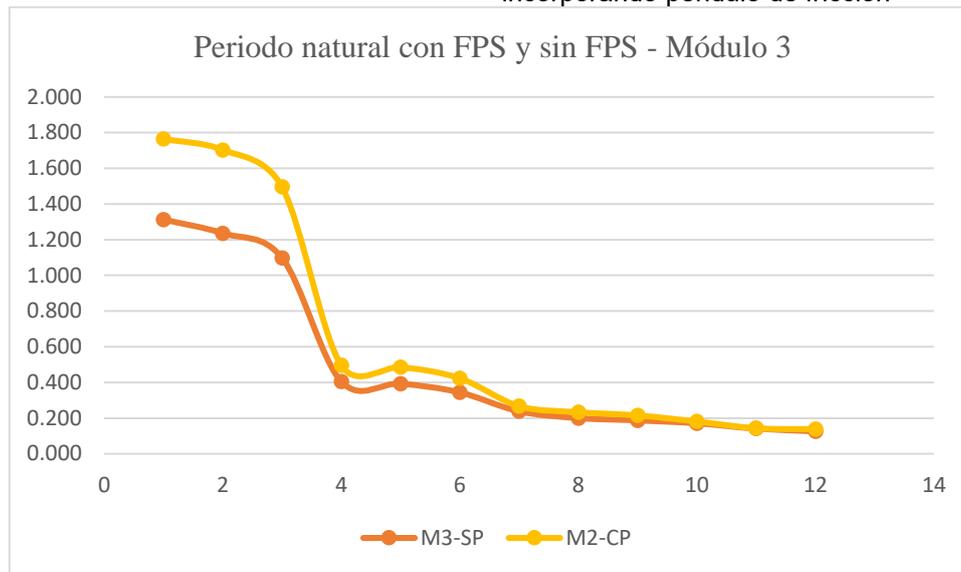


Figura 115. Comparación de los periodos del módulo 3 con FPS y sin FPS.

### 3.2.4.2 Deformación lateral

Tabla 39.

Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 1.

	Deformación lateral	
	UX (m)	UY (m)
<b>Módulo 1 – sin FPS</b>	0.0258	0.0404
<b>Módulo 1 – con FPS</b>	0.0242	0.0305
<b>Δ Desplazado</b>	0.0015	0.0099
<b>% Reducción</b>	5.98%	24.48%

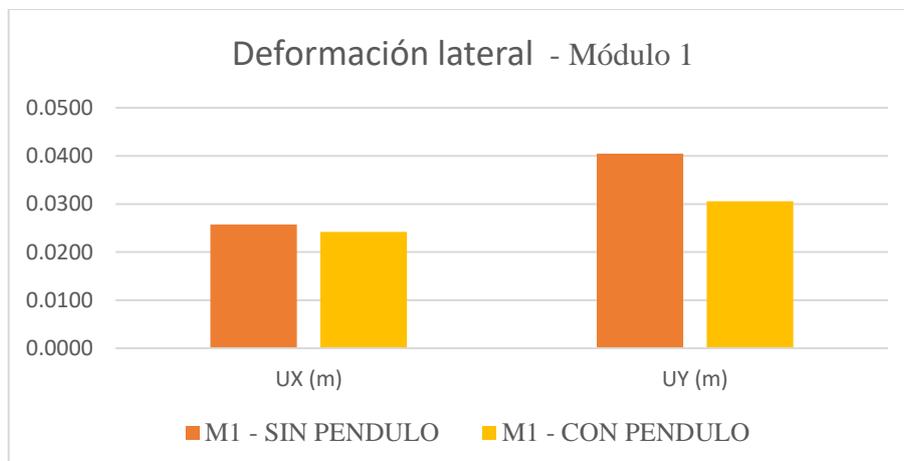


Figura 116. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 1 con FPS y sin FPS.

Tabla 40.

Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 2.

	Deformación lateral	
	UX (m)	UY (m)
<b>Módulo 2 – sin FPS</b>	0.0311	0.0232
<b>Módulo 2 – con FPS</b>	0.0255	0.0191
<b>Δ Desplazado</b>	0.0055	0.0041
<b>% Reducción</b>	17.83%	17.77%

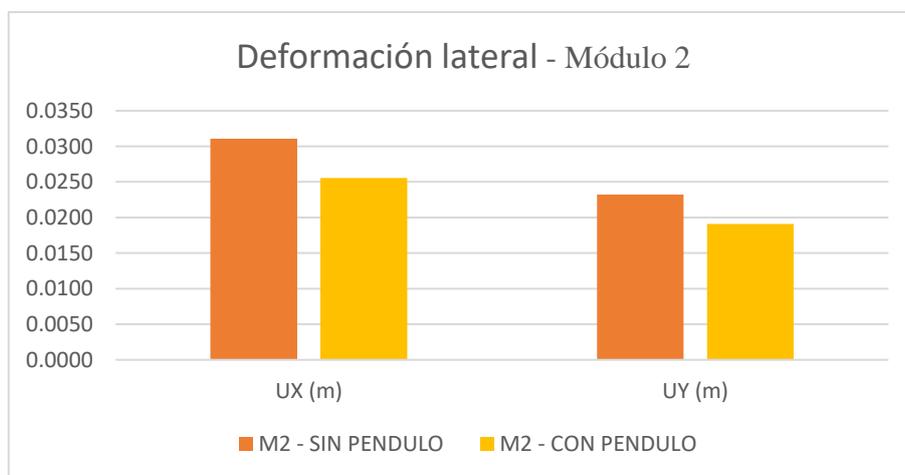


Figura 117. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 2 con FPS y sin FPS.

Tabla 41.

Comparación de las deformaciones laterales con FPS y sin FPS-modulo 3.

	Deformación lateral	
	UX (m)	UY (m)
<b>Módulo 3 – sin FPS</b>	0.0492	0.0386
<b>Módulo 3 – con FPS</b>	0.0415	0.0281
<b>Δ Desplazado</b>	0.0077	0.0104
<b>% Reducción</b>	15.67%	27.00%

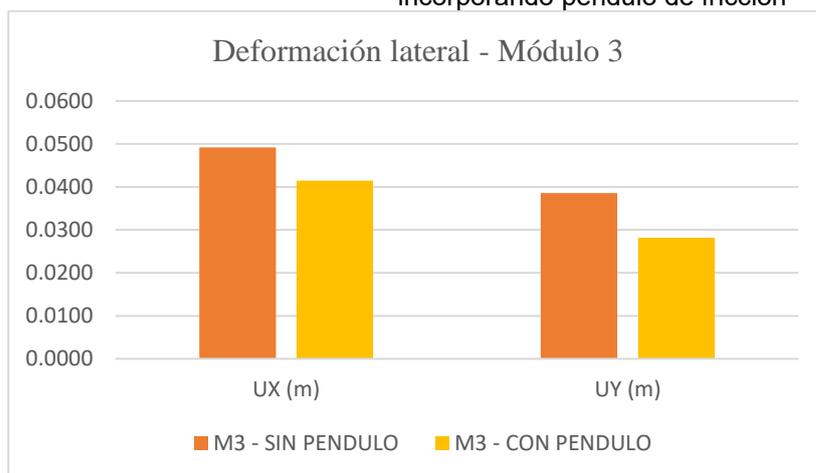


Figura 118. Comparación de las deformaciones laterales del módulo 3 con FPS y sin FPS.

### 3.2.4.3. Fuerzas en las bases

Tabla 42.

Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 1.

Fuerzas en las bases		
	Max Drift X	Max Drift Y
<b>Módulo 1- sin FPS</b>	52.8498	45.5497
<b>Módulo 1 - con FPS</b>	49.8305	35.9901
<b>Δ Deriva</b>	3.0193	9.5596
<b>% Δ</b>	6.06%	26.56%

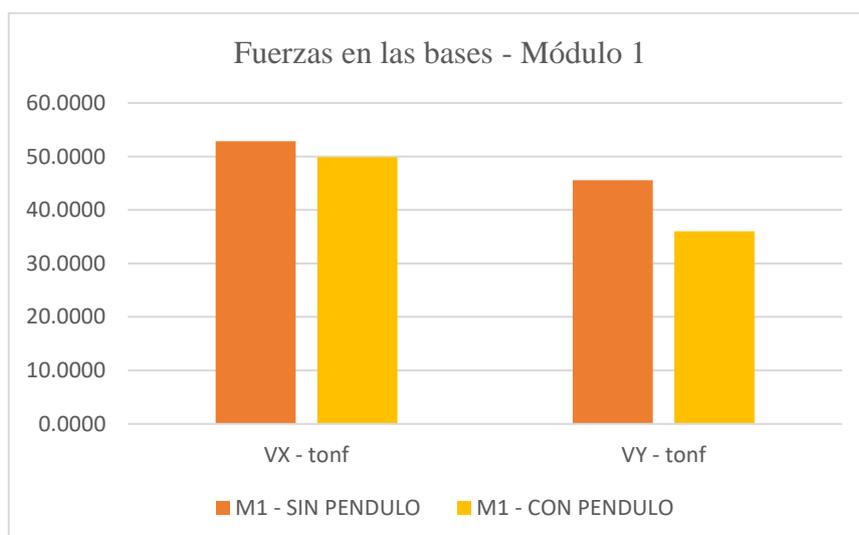


Figura 119. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 1 con FPS y sin FPS.

Tabla 43.

Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 2.

	Fuerzas en las bases	
	Max Drift X	Max Drift Y
<b>Módulo 2- sin FPS</b>	9.2755	10.3144
<b>Módulo 2 - con FPS</b>	10.8369	11.7047
<b>Δ Deriva</b>	1.5614	1.3903
<b>% Δ</b>	14.41%	11.88%

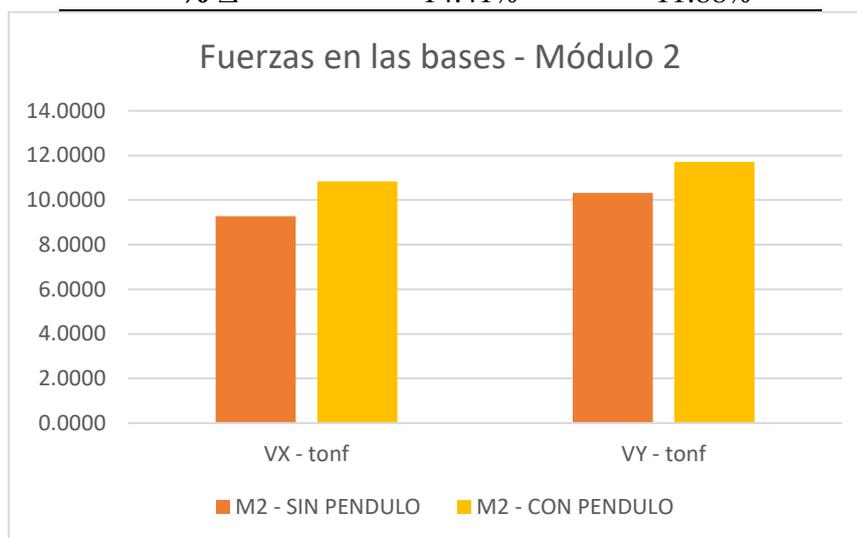


Figura 120. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 2 con FPS y sin FPS.

Tabla 44.

Fuerzas en las bases con FPS y sin FPS-Modulo 3.

	Fuerzas en las bases	
	Max Drift X	Max Drift Y
<b>Módulo 2- sin FPS</b>	19.5823	21.7938
<b>Módulo 2 - con FPS</b>	14.9808	16.6856
<b>Δ Deriva</b>	4.6015	5.1082
<b>% Δ</b>	30.72%	30.61%

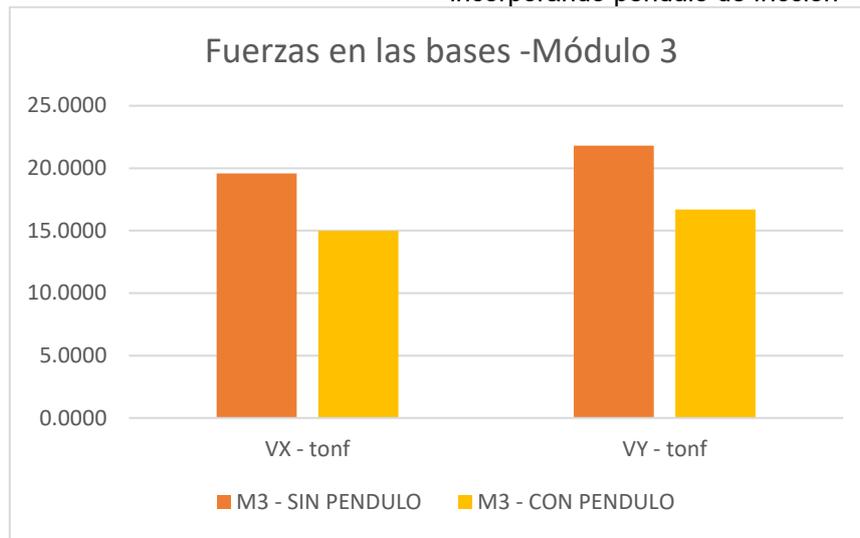


Figura 121. Comparación de las fuerzas en la base del módulo 3 con FPS y sin FPS.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión de resultados

- En la tabla 36, 37 y 38, de los módulos 1, 2 y 3 respectivamente; los periodos aumentan por modo, debido a la excitación que causan los péndulos en las bases de la estructura.
- En la tabla 39, la deformación lateral de la estructura sin péndulos en X es de 0.0258m y en Y es de 0.0404m, a diferencia de que la estructura modelada con FPS de 0.0242 y 0.0305 en X y Y respectivamente; obteniendo un porcentaje de reducción en la estructura de 5.98% en X y de 24.48% en Y.
- En la tabla 40, la deformación lateral de la estructura sin péndulos en X es de 0.0311m y en Y es de 0.0232m, a diferencia de que la estructura modelada con FPS de 0.0255 y 0.0191 en X y Y respectivamente; obteniendo un porcentaje de reducción en la estructura de 17.83% en X y de 17.77% en Y.
- En la tabla 41, la deformación lateral de la estructura sin péndulos en X es de 0.0492m y en Y es de 0.0386m, a diferencia de que la estructura modelada con FPS de 0.0415 y 0.0281 en X y Y respectivamente; obteniendo un porcentaje de reducción en la estructura de 15.67% en X y de 27.00% en Y.
- En la tabla 42, las fuerzas en las bases del módulo 1, disminuyen 6.06% en X y 26.56% en Y incluyendo el sistema de aislamiento, ya que el FPS recibe esas fuerzas por acción del sismo y las disipa de tal manera que la superestructura reciba solamente el 93.94% en X y 73.44% en Y de dicha fuerza.

- En la tabla 43, las fuerzas en las bases del módulo 2, aumentan considerablemente en 14.41% en X y 11.88% en Y incluyendo el sistema de aislamiento, ya que el FPS recibe esas fuerzas por acción del sismo y las disipa de tal manera que la superestructura reciba solamente el 93.94% en X y 73.44% en Y de dicha fuerza.
- En la tabla 44, las fuerzas en las bases del módulo 3, disminuyen considerablemente 30.72% en X y 30.61% en Y incluyendo el sistema de aislamiento, ya que el FPS recibe esas fuerzas por acción del sismo y las disipa de tal manera que la superestructura reciba solamente el 69.28% en X y 69.39% en Y de dicha fuerza.
- Al igual que Vergara (2015), concluimos que el uso de aislador sísmico disminuye la rigidez del sistema estructural.
- Luque (2016), considera la reducción de las deformaciones laterales en 1.95 veces en el sentido “X” y 1.61 veces en el sentido “Y”. Al igual que en la presente investigación donde las deformaciones, en el módulo 3 el más representativo, la deformación lateral de la estructura se reduce en 15.67% de X y de 27.00% en Y.
- Esta investigación discrepa con Chunque (2013), ya que en su investigación demuestra que la estructura tiene la capacidad de desarrollar un 178% y 97% más de corte basal en las direcciones “X” y “Y” respectivamente, sin embargo, demostramos que las fuerzas en las bases, en el módulo 3, disminuyen considerablemente 30.72% en X y 30.61% en Y incluyendo el sistema de aislamiento. Por otro lado, recalamos que la edificación, presenta una gran resistencia y buena ductilidad frente a cargas laterales.
- Al igual que Cango (2018), concluimos que los FPS controlan los parámetros de respuesta al desplazamiento y a la cortante basal.

## 4.2 Conclusiones

1. Existe una mejoría en la variación de la deformación lateral y la fuerza en las bases con aisladores de péndulos de fricción (FPS), cumpliéndose la hipótesis.
2. El comportamiento sísmico de la estructura analizada, “Los Pilancones”, disminuye en 23% en cuanto a la deformación lateral y fuerza en las bases con aisladores de péndulos de fricción, mejorando las condiciones de la estructura.
3. Los resultados de la edificación sin aisladores de péndulo de fricción, en cuanto a la deformación lateral son: para el módulo 1 de 0.02575m en X y 0.04043m en Y, para el módulo 2 de 0.03108m en X y 0.02321m en Y y finalmente para el módulo 3 de 0.04916m en X y 0.03856m en Y. por otro lado en cuanto a las fuerzas en las bases los resultados fueron: para el módulo 1 de 52.85tn.f en X y 45.54tn.f en Y, para el módulo 2 de 9.28tn.f en X y 10.31tn.f en Y, finalmente para el módulo 3 de 19.58tn.f en X y 21.79tn.f en Y.
4. En cuanto a la estructura modelada con péndulos de fricción, las deformaciones laterales fueron: para el módulo 1 de 0.02421m en X y 0.03054m en Y, para el módulo 2 de 0.02554m en X y 0.01909m en Y y finalmente para el módulo 3 de 0.04146m en X y 0.02815m en Y. Por otro lado, en cuanto a las fuerzas en las bases los resultados fueron: para el módulo 1 de 49.83tn.f en X y 35.99tn.f en Y, para el módulo 2 de 10.84 tn.f en X y 11.70tn.f en Y, finalmente para el módulo 3 de 14.98tn.f en X y 16.69tn.f en Y.

5. El comportamiento sísmico de la estructura analizada, “Los Pilancones” disminuye la deformación lateral en “Y” un 23.08% y en “X” un 13.16% con los aisladores de péndulo de fricción, y la fuerza en las bases con un porcentaje de reducción en la estructura de 17.03% en X y de 23.02% en Y respectivamente.

## REFERENCIAS

- Aguiar, R., Almazan, L., Dechent, P., & Suárez, V. (2016). Aisladores de base elastomericos y FPS. Quito, Ecuador.
- Allauca, L. (2006). Desempeño sísmico de un edificio de cinco pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones. Lima, Perú.
- Bertero, V. (2005). Vulnerabilidad y daño sísmicos: concepto y evaluación. Valparaiso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María y Achisina.
- Cango, A. (Abril de 2018). Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT. Cuenca, Ecuador.
- Chunque, J. (2013). *Nivel de desempeño sísmico del edificio "a" de la Universidad Privada del Norte - sede Cajamarca*. Cajamarca, Perú.
- Constantinou, M. (2004). Friction pendulum doble concave bearing. NEES report. E.030, N. T. (2019). Lima, Perú.
- Korswagen, P., Arias, J., & Huaranga, P. (Septiembre de 2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú. Lima, Perú.
- Kuroiwa, J. (2002). Reducción de desastres. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)*. Lima, Perú.
- Luque, M. (2016). Evaluación del desempeño estructural con sistemas de aislamiento de base para el edificio 15 niveles de la ciudad universitaria de Puno. Puno, Perú.
- M. Constantinou, I. K. (2011). LRFD- based analysis and design procedures for bridge bearings and seismic isolators. MCEER.
- Martínez, I., & Melgar, C. (Septiembre de 2015). Análisis, comportamiento y diseño de edificaciones con aisladores de péndulo friccional. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Monge, J. (Agosto de 2014). Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de la primera y segunda generación. Sangolqui, Ecuador: Universidad de las fuerzas armadas.
- Mosqueira, M. (2012). Riesgo sísmico en las edificaciones de la facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. 16. Perú.
- Ramirez, J. (2014). Desempeño sismoresistente del módulo c, del mercado de abastos de los Baños del Inca. Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Salazar, A. (2010). Aisladores de base. Escuela Politécnica del Ejército.
- Santana, R. (2012). Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada. Lima, Perú.
- SEAOC. (1995). Structural Engineers Association of California. Framework for Performance Based Design.

## ANEXOS

Anexo N° 1: Espectro de sismo.

Anexo N° 2: Datos referenciales de tesis “Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT”.

Anexo N° 3: Plano de Ubicación.

Anexo N° 4: Planos de Arquitectura.

Anexo N° 5: Planos de cimentaciones.

Anexo N° 6: Planos de estructuras

Anexo N° 7: Plano de diseño del triple péndulo de fricción.

Anexo N° 8: Plano en 3D del péndulo.

Anexo N° 9: Estudios de suelos de una edificación cercana.

Anexo N° 10: Formatos utilizados para las técnicas de recolección de datos.

Anexo N° 11: Formatos utilizados para los instrumentos de análisis de datos.

## Anexo N° 1: Espectro de sismo

- Para el espectro de los tres módulos a analizar 1 y 3, se consideran los datos de obtenidos de la norma técnica E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

*Ecuación 22: Periodo fundamental de vibración.*

Donde:

T: periodo de diseño.

$h_n$ : altura total de edificio.

$C_T$ : 45, para edificios cuyos elementos, resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos de concreto.

Datos del edificio:

$h_n$ : 18.36 m

$$T = \frac{18.36}{45}$$

$$T = 0.408$$

$$0.408 < 1$$

Altura de edificio por piso  $h=3.06\text{m}$

Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.

Factor de amplificación  $T < T_p$ ,  $C=2.5$

*Tabla 45.  
Zonificación.*

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente. Modificado de NT. E.030,2019

Tabla 46.  
Tipo de suelo.

S1	<b>Roca o suelo muy rígido</b>
S2	<b>Suelo intermedio</b>
S3	Suelo blando
S4	Condiciones excepcionales

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Tabla 47.  
Factor de suelo.

	S0	S1	S2	S3
Z4	0.8	1	1.05	1.1
Z3	0.8	1	<b>1.15</b>	1.2
Z2	0.8	1	1.2	1.4
Z1	0.8	1	1.6	2

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Tabla 48.  
Periodos  $T_p$  y  $T_l$ .

	S0	S1	S2	S3
<b><math>T_p</math>(s)</b>	0.3	0.4	<b>0.6</b>	1
<b><math>T_l</math>(s)</b>	3	2.5	2	1.6

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Tabla 49.  
Factor de uso.

Para edificaciones comunes (C)	Viviendas, oficinas, hoteles restaurantes, depósitos, cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios y fugas de contaminantes	<b>1</b>
--------------------------------	--	----------

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Debido a que el edificio presenta irregularidades que se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente, donde la edificación de concreto armado – pórtico, tiene como coeficiente básico de reducción  $R_o=8$ .

Para el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, R

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

*Ecuación 23: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.*

*Tabla 50.*

Coeficiente Básico de Reducción R0.

Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Donde:

$I_a$  (Irregularidad estructural en altura) = 0.90

$I_p$  (Irregularidad estructural en planta) = 1.00

$$R = 8 * 0.9 * 1$$

$$R = 7.2$$

*Tabla 51.*

Cálculo de ZUCS/R para módulo 1 y 3

<b>Factor de zona</b>	<b>Z =</b>	<b>0.35</b>
<b>Categoría</b>	<b>U =</b>	<b>1.00</b>
<b>Factor de amplificación sísmica</b>	<b>C =</b>	<b>2.500</b>
<b>Factor de suelo</b>	<b>S =</b>	<b>1.15</b>
<b>Factor de reducción</b>	<b>Ro =</b>	<b>8</b>
		<b>0.131</b>

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

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

*Ecuación 24: Factor de reducción*

$$f_e = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{8}$$

$$f_e = 0.131$$

Tabla 52.  
Espectro de sismo módulo 1 y 3.

C	T (s)	Sa/g	Sa (m/s <sup>2</sup> )	Sv (m/s)	Sd (m)
2.50	0.00	0.131	1.29	0.000	0.000
2.50	0.02	0.131	1.29	0.004	0.000
2.50	0.04	0.131	1.29	0.008	0.000
2.50	0.06	0.131	1.29	0.012	0.000
2.50	0.08	0.131	1.29	0.016	0.000
2.50	0.10	0.131	1.29	0.020	0.000
2.50	0.12	0.131	1.29	0.025	0.000
2.50	0.14	0.131	1.29	0.029	0.001
2.50	0.16	0.131	1.29	0.033	0.001
2.50	0.18	0.131	1.29	0.037	0.001
2.50	0.20	0.131	1.29	0.041	0.001
2.50	0.25	0.131	1.29	0.051	0.002
2.50	0.30	0.131	1.29	0.061	0.003
2.50	0.35	0.131	1.29	0.072	0.004
2.50	0.40	0.131	1.29	0.082	0.005
2.50	0.45	0.131	1.29	0.092	0.007
2.50	0.50	0.131	1.29	0.102	0.008
2.50	0.55	0.131	1.29	0.113	0.010
2.50	0.60	0.131	1.29	0.123	0.012
2.50	0.65	0.131	1.29	0.133	0.014
2.50	0.70	0.131	1.29	0.143	0.016
2.50	0.75	0.131	1.29	0.154	0.018
2.50	0.80	0.131	1.29	0.164	0.021
2.50	0.85	0.131	1.29	0.174	0.024
2.50	0.90	0.131	1.29	0.184	0.026
2.50	0.95	0.131	1.29	0.195	0.029
2.50	1.00	0.131	1.29	0.205	0.033
2.27	1.10	0.119	1.17	0.205	0.036
2.08	1.20	0.109	1.07	0.205	0.039
1.92	1.30	0.101	0.99	0.205	0.042
1.79	1.40	0.094	0.92	0.205	0.046
1.67	1.50	0.088	0.86	0.205	0.049
1.56	1.60	0.082	0.80	0.205	0.052
1.38	1.70	0.073	0.71	0.193	0.052
1.23	1.80	0.065	0.64	0.182	0.052
1.11	1.90	0.058	0.57	0.173	0.052
1.00	2.00	0.053	0.52	0.164	0.052

0.83	2.20	0.043	0.43	0.149	0.052
0.69	2.40	0.036	0.36	0.137	0.052
0.59	2.60	0.031	0.30	0.126	0.052
0.51	2.80	0.027	0.26	0.117	0.052
0.44	3.00	0.023	0.23	0.109	0.052
0.25	4.00	0.013	0.13	0.082	0.052
0.16	5.00	0.008	0.08	0.066	0.052
0.11	6.00	0.006	0.06	0.055	0.052
0.08	7.00	0.004	0.04	0.047	0.052
0.06	8.00	0.003	0.03	0.041	0.052
0.05	9.00	0.003	0.03	0.036	0.052
0.04	10.00	0.002	0.02	0.033	0.052

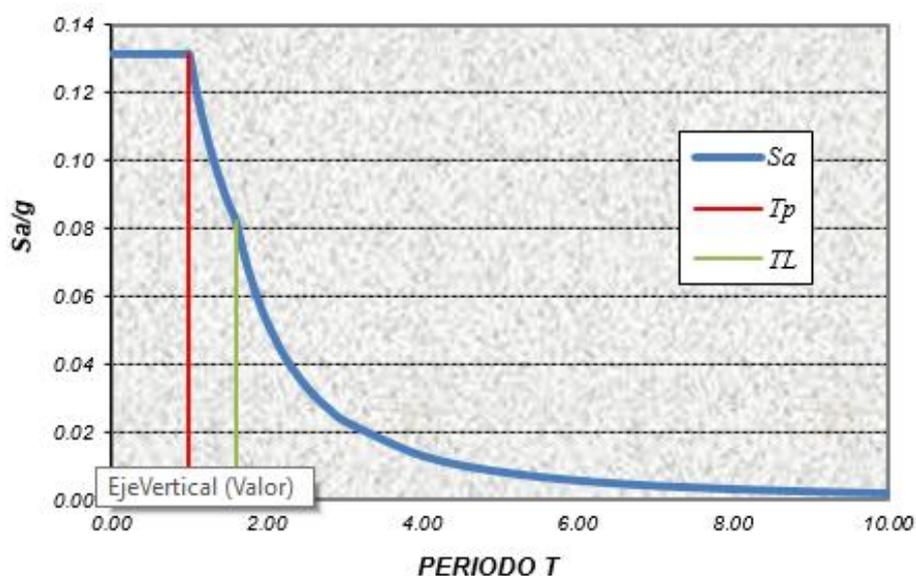


Figura 122: Espectro de aceleraciones módulo 1 y 3.

Tabla 53.

Coefficiente Básico de Reducción  $R_0$ .

Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

Donde:

$$I_a \text{ (Irregularidad estructural en altura)} = 0.90$$

$$I_p \text{ (Irregularidad estructural en planta)} = 1.00$$

$$R = 8 * 0.9 * 1$$

$$R = 7.2$$

Tabla 54.  
Cálculo de ZUCS/R para módulo 2

<b>Factor de zona</b>	<b>Z =</b>	<b>0.35</b>
<b>Categoría</b>	<b>U =</b>	<b>1.00</b>
<b>Factor de amplificación sísmica</b>	<b>C =</b>	<b>2.500</b>
<b>Factor de suelo</b>	<b>S =</b>	<b>1.15</b>
<b>Factor de reducción</b>	<b>Ro =</b>	<b>7.2</b>
		<b>0.140</b>

Fuente: Modificado de NT. E.030,2019

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

Ecuación 25: Factor de reducción

$$f_e = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{7.20}$$

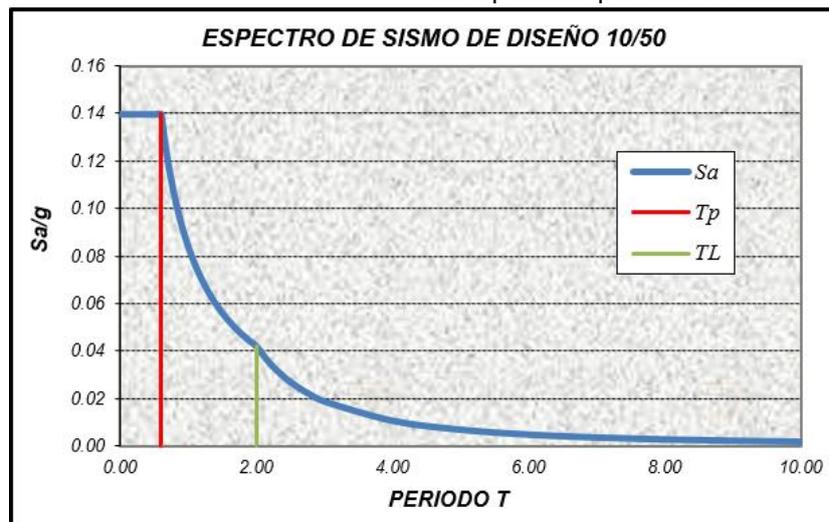
$$f_e = 0.1398$$

Tabla 55.  
Espectro de sismo módulo 2

<b>C</b>	<b>T (s)</b>	<b>Sa/g</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Sv (m/s)</b>	<b>Sd (m)</b>
2.50	-	0.140	1.37101563	0	0
2.50	0.02	0.140	1.37101563	0.00436408	1.3891E-05
2.50	0.04	0.140	1.37101563	0.00872816	5.5565E-05
2.50	0.06	0.140	1.37101563	0.01309223	0.00012502
2.50	0.08	0.140	1.37101563	0.01745631	0.00022226
2.50	0.10	0.140	1.37101563	0.02182039	0.00034728
2.50	0.12	0.140	1.37101563	0.02618447	0.00050009

2.50	0.14	0.140	1.37101563	0.03054855	0.00068067
2.50	0.16	0.140	1.37101563	0.03491263	0.00088904
2.50	0.18	0.140	1.37101563	0.0392767	0.00112519
2.50	0.20	0.140	1.37101563	0.04364078	0.00138913
2.50	0.25	0.140	1.37101563	0.05455098	0.00217051
2.50	0.30	0.140	1.37101563	0.06546117	0.00312554
2.50	0.35	0.140	1.37101563	0.07637137	0.00425421
2.50	0.40	0.140	1.37101563	0.08728157	0.00555652
2.50	0.45	0.140	1.37101563	0.09819176	0.00703247
2.50	0.50	0.140	1.37101563	0.10910196	0.00868206
2.50	0.55	0.140	1.37101563	0.12001215	0.01050529
2.50	0.60	0.140	1.37101563	0.13092235	0.01250216
2.31	0.65	0.129	1.26555288	0.13092235	0.01354401
2.14	0.70	0.120	1.17515625	0.13092235	0.01458586
2.00	0.75	0.112	1.0968125	0.13092235	0.0156277
1.88	0.80	0.105	1.02826172	0.13092235	0.01666955
1.76	0.85	0.099	0.96777574	0.13092235	0.0177114
1.67	0.90	0.093	0.91401042	0.13092235	0.01875324
1.58	0.95	0.088	0.86590461	0.13092235	0.01979509
1.50	1.00	0.084	0.82260938	0.13092235	0.02083694
1.36	1.10	0.076	0.7478267	0.13092235	0.02292063
1.25	1.20	0.070	0.68550781	0.13092235	0.02500433
1.15	1.30	0.065	0.63277644	0.13092235	0.02708802
1.07	1.40	0.060	0.58757813	0.13092235	0.02917171

1.00	1.50	0.056	0.54840625	0.13092235	0.03125541
0.94	1.60	0.052	0.51413086	0.13092235	0.0333391
0.88	1.70	0.049	0.48388787	0.13092235	0.0354228
0.83	1.80	0.047	0.45700521	0.13092235	0.03750649
0.79	1.90	0.044	0.4329523	0.13092235	0.03959018
0.75	2.00	0.042	0.41130469	0.13092235	0.04167388
0.62	2.20	0.035	0.33992123	0.11902032	0.04167388
0.52	2.40	0.029	0.28562826	0.10910196	0.04167388
0.44	2.60	0.025	0.24337555	0.1007095	0.04167388
0.38	2.80	0.021	0.20984933	0.09351596	0.04167388
0.33	3.00	0.019	0.18280208	0.08728157	0.04167388
0.19	4.00	0.010	0.10282617	0.06546117	0.04167388
0.12	5.00	0.007	0.06580875	0.05236894	0.04167388
0.08	6.00	0.005	0.04570052	0.04364078	0.04167388
0.06	7.00	0.003	0.03357589	0.03740639	0.04167388
0.05	8.00	0.003	0.02570654	0.03273059	0.04167388
0.04	9.00	0.002	0.02031134	0.02909386	0.04167388
0.03	10.00	0.002	0.01645219	0.02618447	0.04167388



**Anexo N° 2: Datos referenciales de tesis “Diseño y análisis de edificaciones con  
aisladores de base tipo FPT”.**



**Universidad de Cuenca**  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT**

Trabajo de titulación, previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Civil

**Director:**

Ing. Francisco Xavier Flores Solano, PhD.  
C.I: 0301547410

**Autor:**

Angel David Cango Puchaicela  
C.I: 1105687311

**Cuenca – Ecuador**

**Abril – 2018**

Tabla 56

Ejemplo de desplazamiento máximo para cada sismo

SISMO - PEER #	$D_{SRSS}$ in
RSN175__IMPVALL	21.44
RSN158_KOCAELI	39.9
RSN728_SUPER	13.62
RSN864_LANDERS	24.14
RSN187__IMPVALL	20.76
RSN549__IMPVALL	19.51
RSN548__IMPVALL	15.54

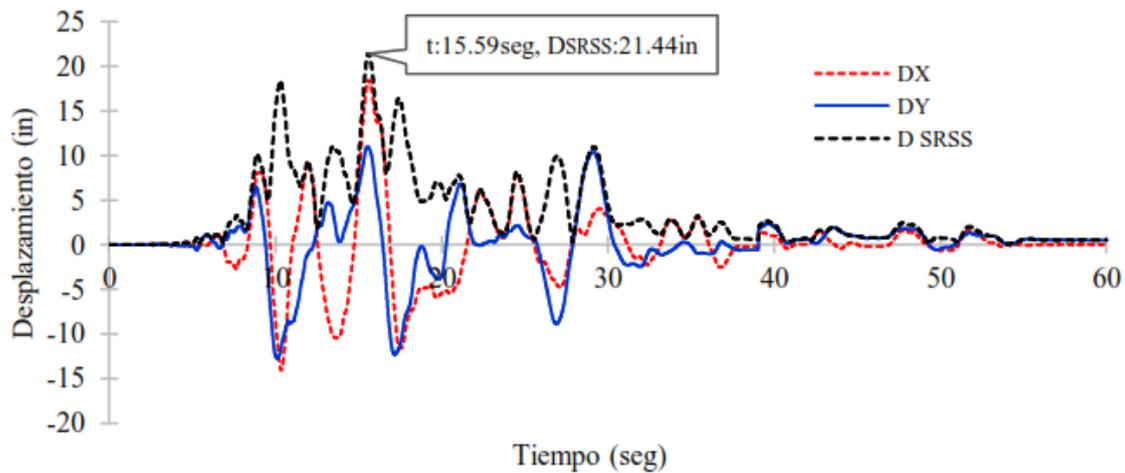


Figura 123: Ejemplo OpenSees - desplazamiento tiempo - historia - sismo RSN175

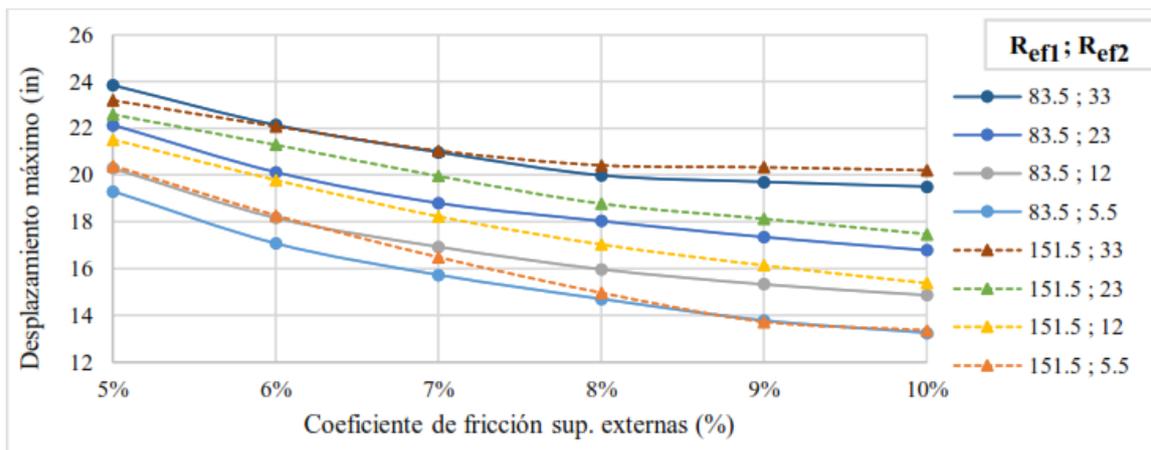


Figura 124: Desplazamiento máximo vs. fricción superficies externas

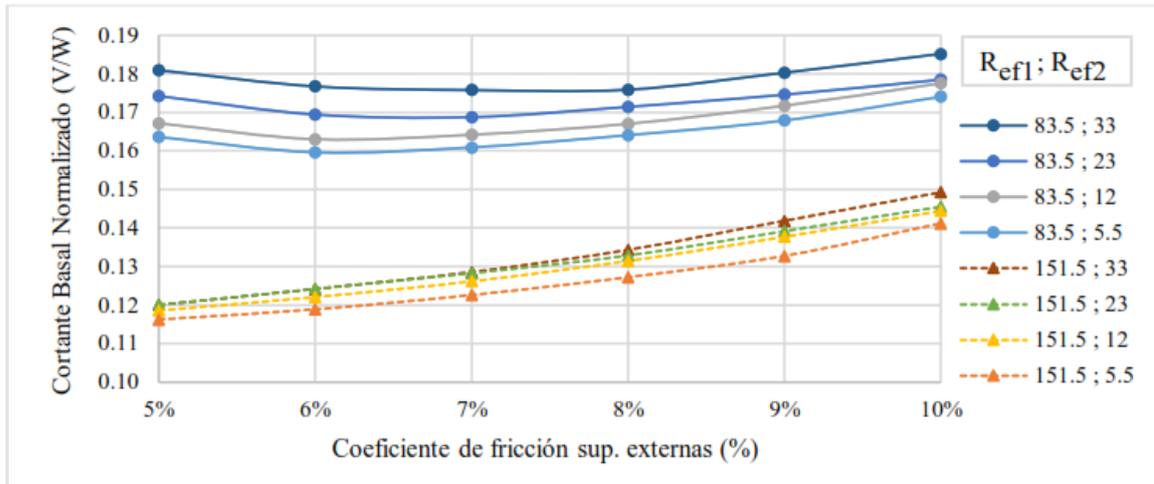
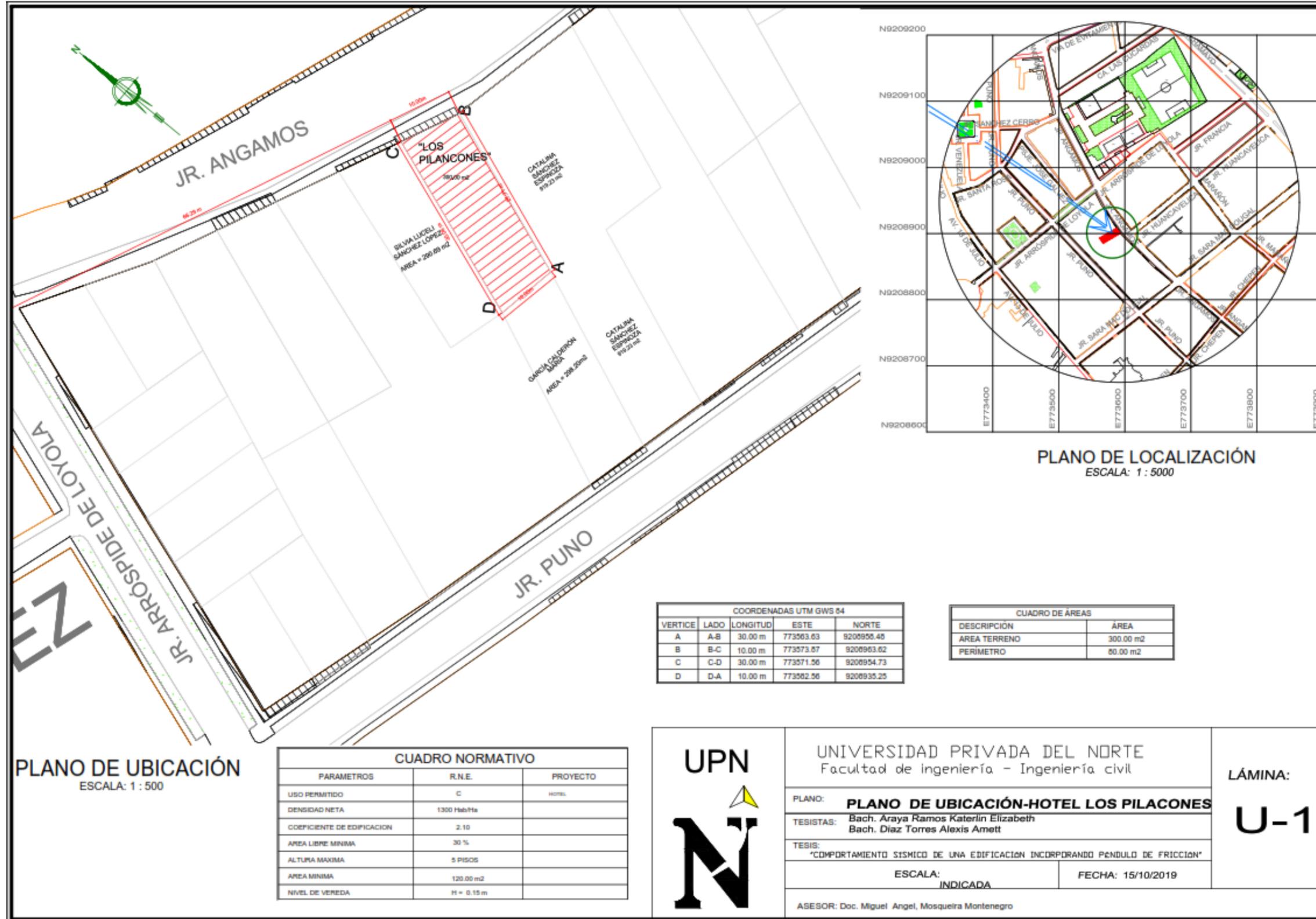


Figura 125: Cortante basal normalizado vs. fricción superficies externas.

Anexo N° 3: Plano de Ubicación.



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**  
Facultad de ingeniería - Ingeniería civil

PLANO: **PLANO DE UBICACIÓN-HOTEL LOS PILANCONES**

TESISTAS: Bach. Araya Ramos Katerlin Elizabeth  
Bach. Diaz Torres Alexis Amett

TESIS: "COMPORTAMIENTO SISMICO DE UNA EDIFICACION INCRPORANDO PENDULO DE FRICCION"

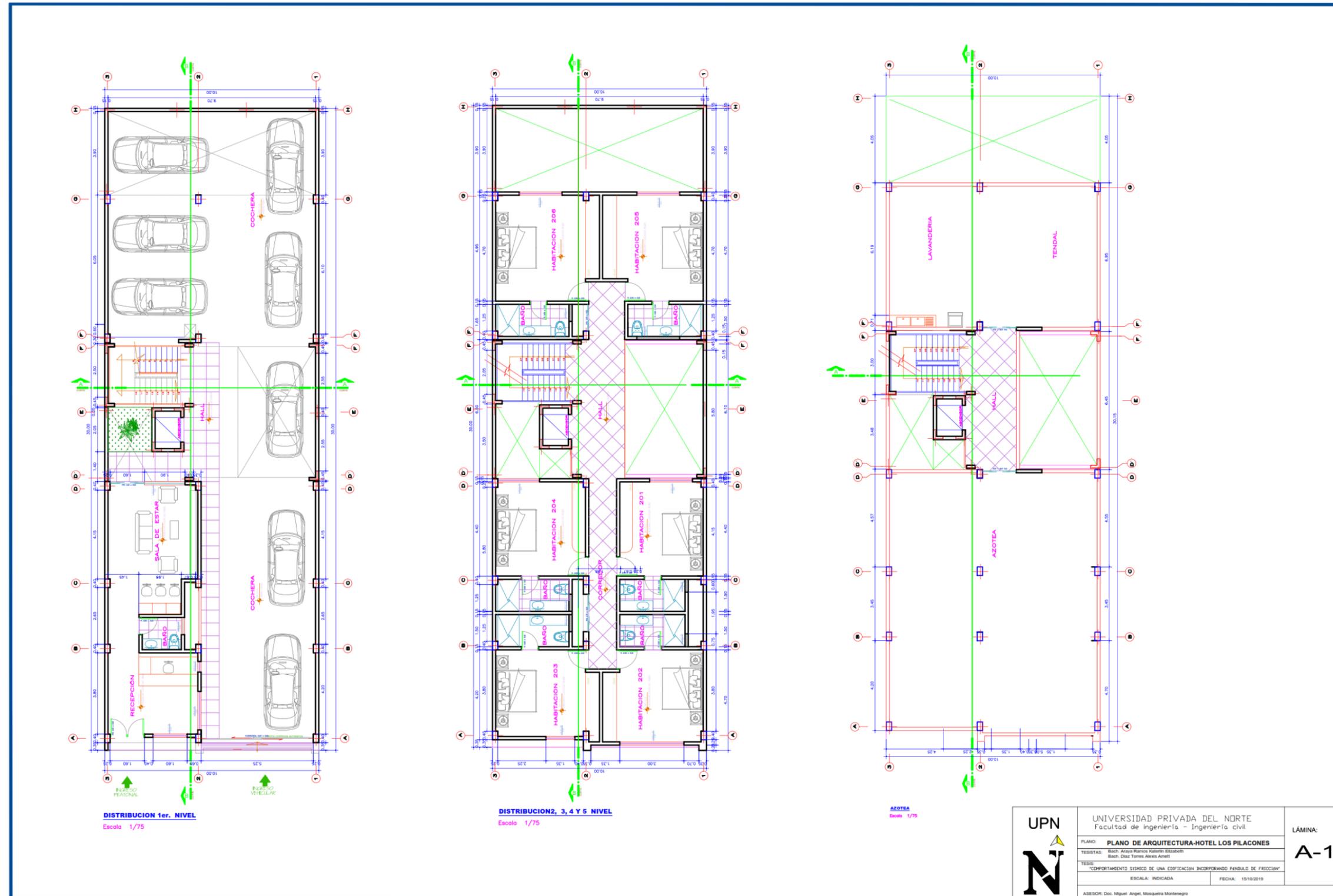
ESCALA: INDICADA

FECHA: 15/10/2019

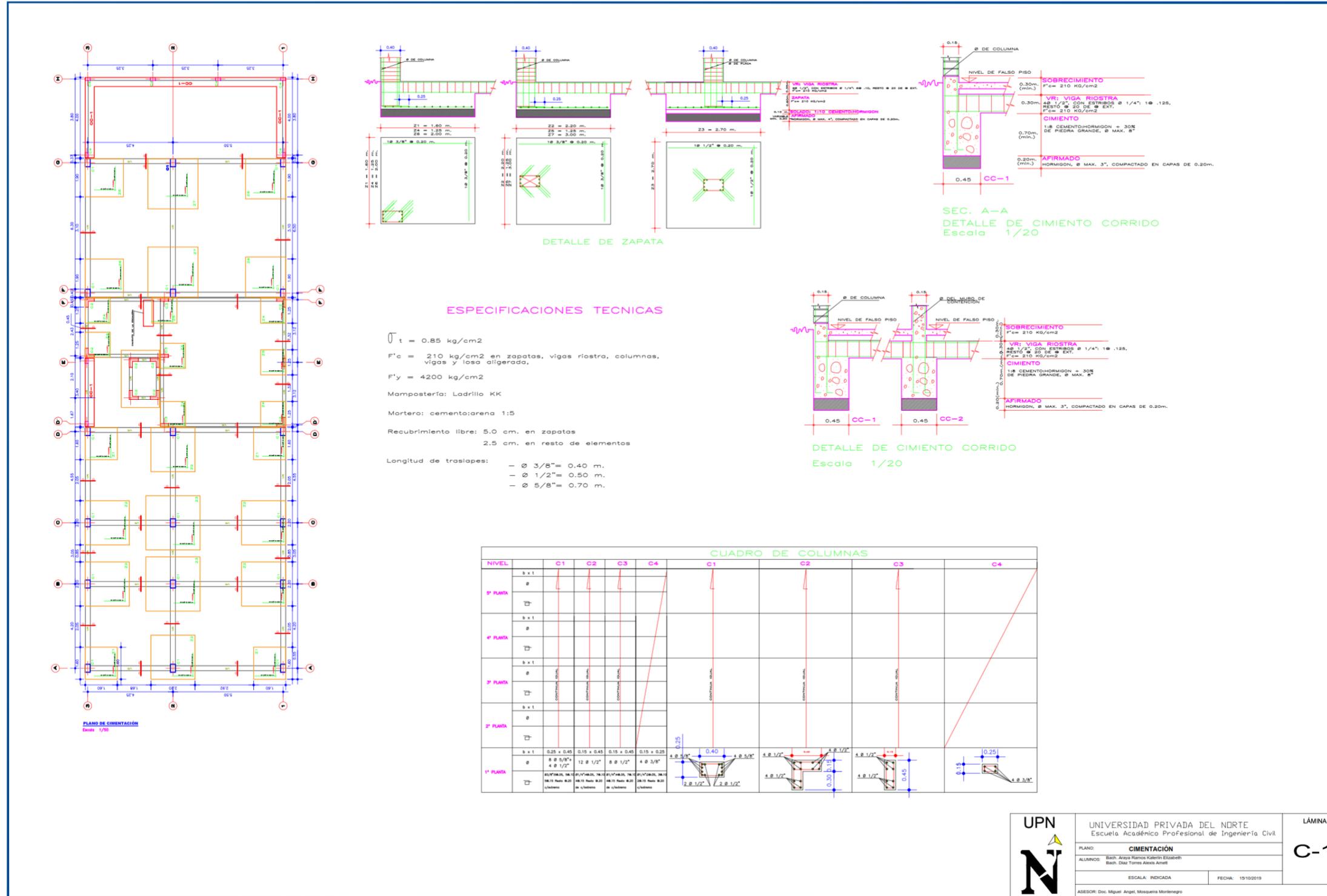
ASESOR: Doc. Miguel Angel, Mosqueira Montenegro

LÁMINA:  
**U-1**

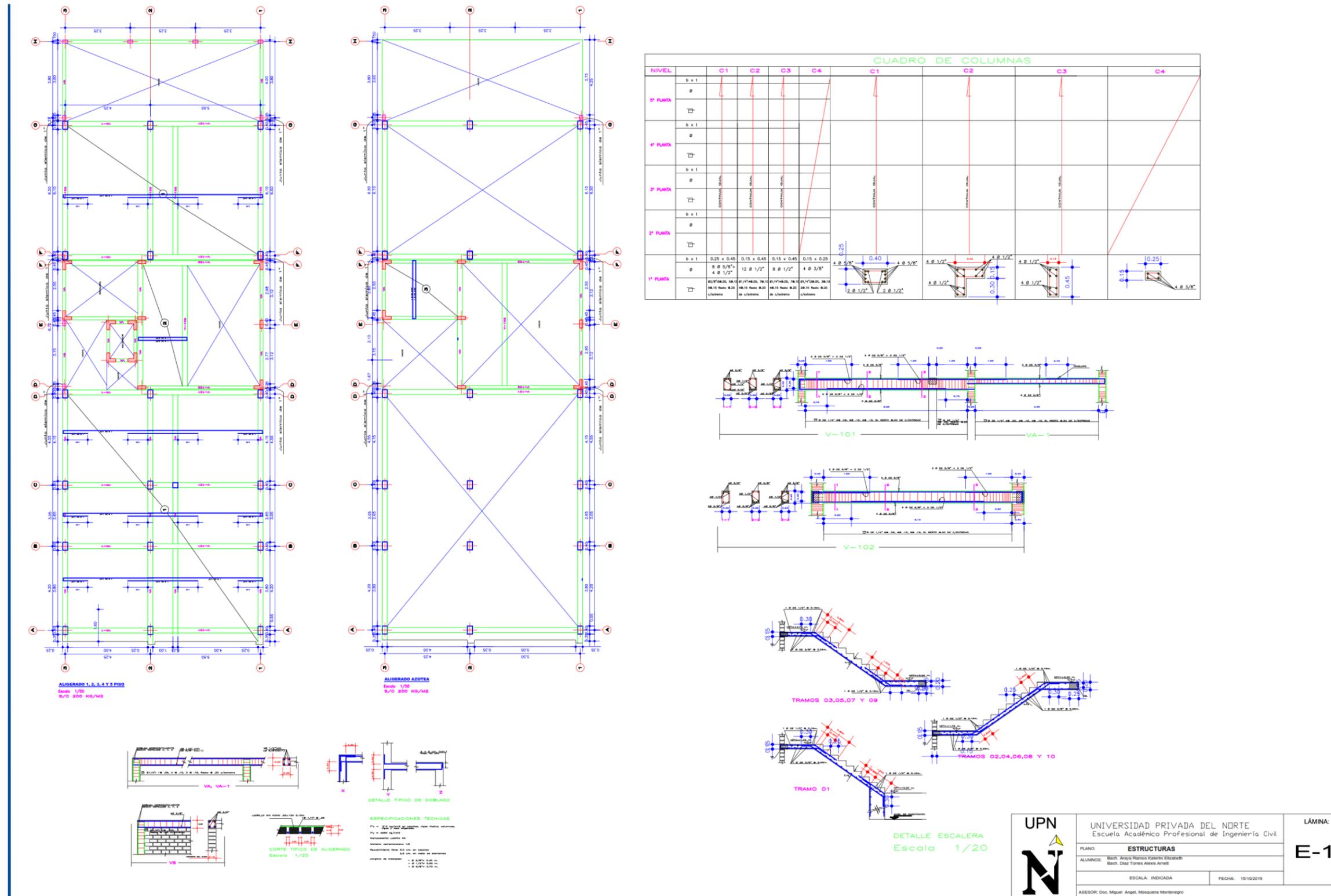
**Anexo N° 4: Planos de Arquitectura.**



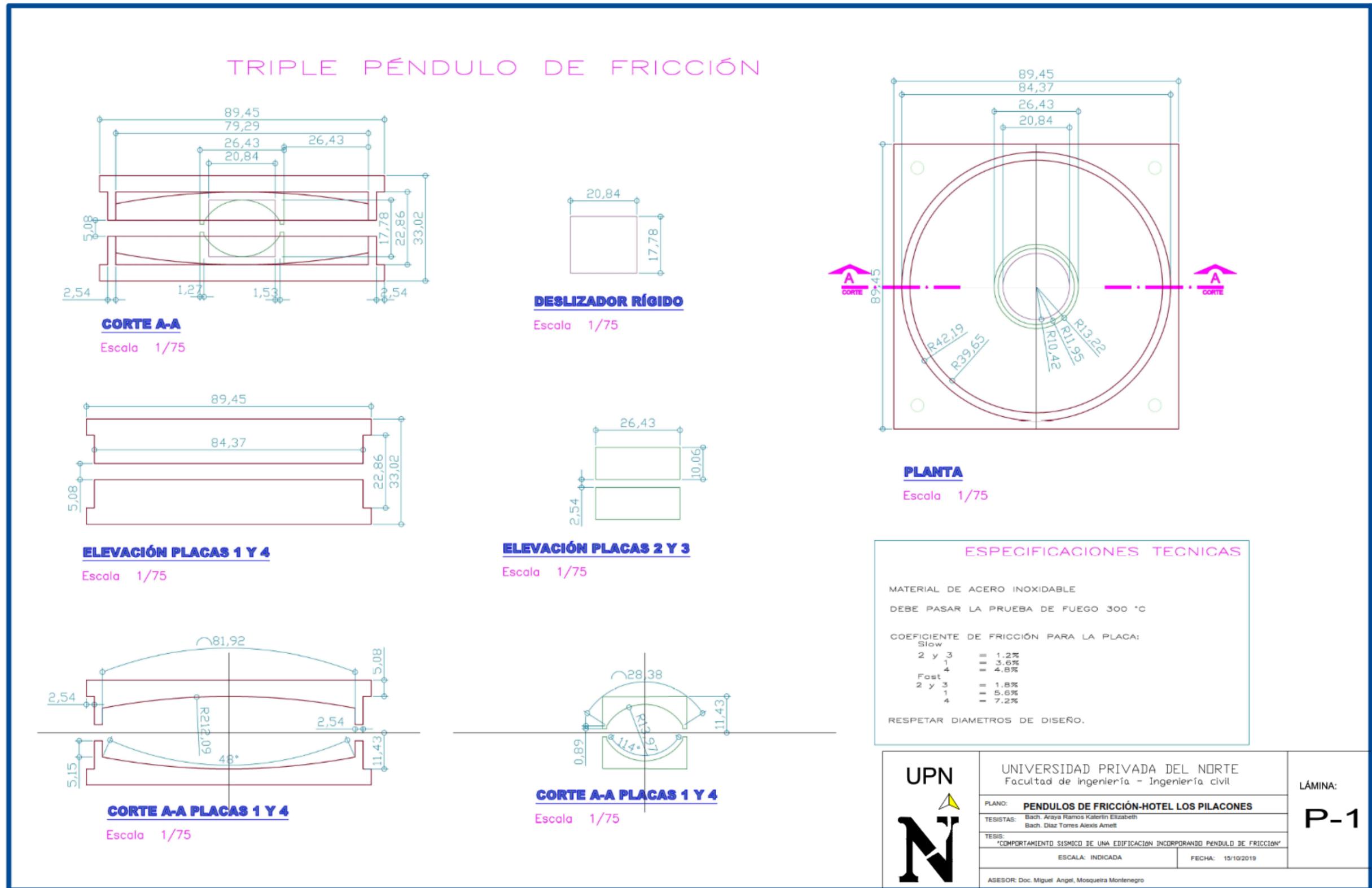
**Anexo N° 5: Planos de cimentaciones.**



**Anexo N° 6: Planos de estructuras**

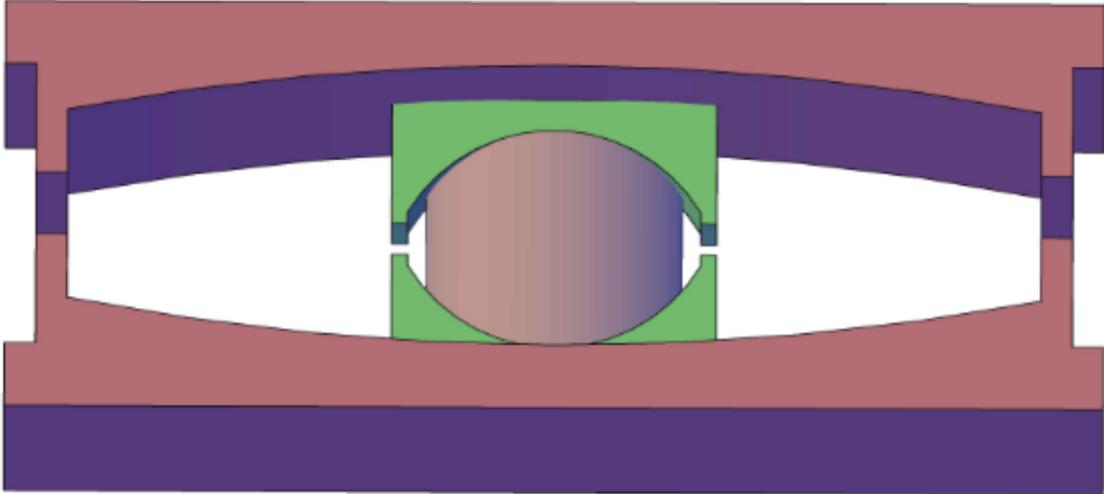


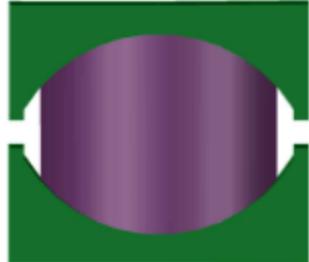
**Anexo N° 7: Plano de diseño del triple péndulo de fricción.**



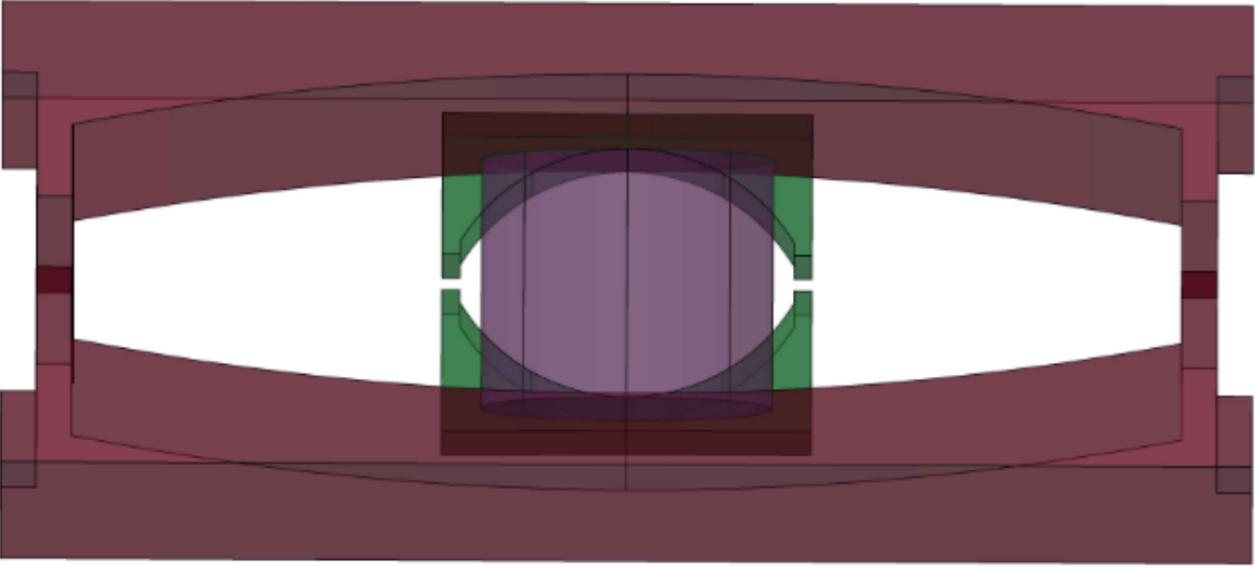
Anexo N° 8: Plano en 3D del péndulo.

**CORTE A-A**  
Escala S/E





**CORTE A-A PLACAS 2 Y 3 CON  
DESLIZADOR RÍGIDO**  
Escala S/E



**CORTE A-A**  
Escala S/E



<b>UPN</b>		LÁMINA:
<b>N</b>		<b>C-1</b>
PLANO: <b>AISLADOR FPT8833 - VISTA 3D</b>		
ALUMNOS: Bach. Araya Ramos Katerlin Elizabeth Bach. Díaz Torres Alexis Amett		
ESCALA: INDICADA	FECHA: 15/10/2019	
ASESOR: Doc. Miguel Angel, Mosquera Montenegro		

**Anexo N° 9: Estudios de suelos de una edificación cercana.**

**PEDRO E. ALARCON FARFAN**  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO 425

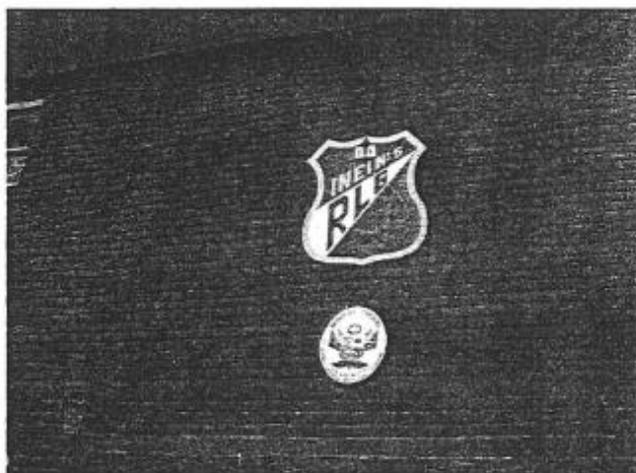
84 ~~85~~  
TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

**INFORME TECNICO**

**ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON  
FINES DE CIMENTACIÓN**

**PROYECTO: I.E.T. "RAFAEL LOAYZA GUEVARA"**

**CAJAMARCA.**



**SOLICITADO POR:**

**CONSORCIO MAXON SAC. - ARQ. GUILLERMO TURZA A.**

**AREVALO.**

**REALIZADO POR:**

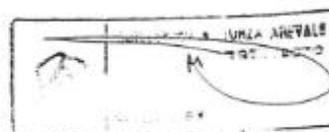
**ING. PEDRO E. ALARCON FARFAN**

**CIP. N° 41251**

*[Handwritten signature]*  
CONSEJO  
R/L/E  
CIP. 41251

LIMA, JUNIO DE 2008

392



PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41231  
REG. CONSUCODE. CO 425

83   
TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

## RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACION

### PROYECTO: I.E.T. “RAFAEL LOAYZA GUEVARA” CAJAMARCA.

#### Tipo de cimentación

La cimentación será a través de zapatas armadas conectadas, y/o platea de cimentación, desplantada sobre suelo natural encontrado, previamente compactado al 95% de su MDS. (mínimo) para asegurar su uniformidad en la superficie de apoyo de las zapatas.

#### Estrato de apoyo

Arcillosa inorgánica de baja plasticidad.

#### Parámetros de diseño:

Profundidad de Cimentación,  $D_f = 1.50$  m.

Presión Admisible  $Q_{adm} = 0.81$  Kg/cm<sup>2</sup>

F.S. = 3.00

Asentamiento Diferencial = 0.92 cm

#### Agresividad del suelo a la cimentación

Se puede utilizar **CEMENTO TIPO I**, de acuerdo a los Análisis Químicos adjuntos.

  
PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 41231

Lima, junio de 2008.



391



**PEDRO E. ALARCON FARFAN**  
INGENIERO CONSULTOR,  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO 425

77  
TELEF. 9990-73150  
TELEFAX. 477-7771

### 2.3 - GEODINAMICA EXTERNA

El terreno de la I.E.T. “Rafael Loayza Guevara”, de Cajamarca, no presenta problemas de geodinámica externa, que puedan poner en peligro la obra a construirse.

### 3.- ACTIVIDADES REALIZADAS.

Los trabajos de campo y laboratorio tienen por objeto, principalmente determinar las características físico mecánicas de los materiales que se encuentran subyacentes en el terreno en estudio con la finalidad de establecer las condiciones que garanticen una óptima cimentación.

#### 3.1 - TRABAJOS DE CAMPO.

Para el presente estudio se realizaron tres calicatas a cielo abierto, que se identificaron como: C-I, C-II y C-III, a profundidades de hasta 3.00 m., en las que se encontró un perfil que se detalla mas adelante, se adjuntan fotografías que muestran el trabajo realizado.

No se encontró nivel freático en ninguna de las excavaciones realizadas.

#### 3.2 - TRABAJOS DE LABORATORIO.

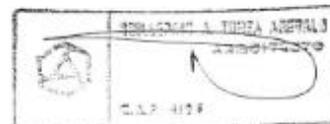
Con las muestras extraídas en el trabajo de campo se obtuvieron en laboratorio los parámetros que nos permitan deducir las condiciones de cimentación, y para esto se realizaron los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamises
- Clasificación de Suelos SUCS.
- Limites de Atterberg.
- Contenido de humedad.
- Corte Directo.
- Análisis químicos (Cloruros, Sulfatos.)

  
PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251

385

**CONSORCIO E & M**  
Ing. Eduardo Gabrán Cabrera  
C.I.P. 49669  
M. 051 252 0001



PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO 425

92  
TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

### 3.3- DESCRIPCION DEL SUBSUELO DE CIMENTACION

De las calicatas realizadas se evalúa y sintetiza la secuencia estratigráfica del suelo:

En la calicata I, de 0.00 a 0.50 m. se encontró tierra de cultivo arcillosa con presencia de raíces y desechos, de 0.50 a 3.00 m. se encontró una arcilla inorgánica de baja plasticidad, húmeda, color marrón oscuro, cuya clasificación según análisis granulométrico fue CL.

En la calicata II, de 0.00 a 1.00 m. se encontró tierra de cultivo arcillosa con presencia de raíces y desmonte de construcción, de 1.00 a 3.00 m. se encontró una arcilla inorgánica de baja plasticidad, húmeda, color marrón oscuro, cuya clasificación según análisis granulométrico fue CL.

En la calicata III, de 0.00 a 1.00 m. se encontró tierra de cultivo arcillosa con presencia de raíces y desmonte de construcción, de 1.00 a 3.00 m. se encontró una arcilla inorgánica de baja plasticidad, húmeda, color marrón oscuro, cuya clasificación según análisis granulométrico fue CL.

### 4.- ANALISIS DE CIMENTACION

#### 4.1.- CAPACIDAD ADMISIBLE DE CARGA

Existen varios procedimientos para determinar la capacidad portante de un suelo. En el presente caso calculamos la capacidad portante a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio, de donde tenemos los siguientes datos, para la condición más desfavorable:

$$\begin{aligned} \phi &= 23^\circ & D_f &= 1.50 \text{ m.} \\ \gamma &= 0.75 & C &= 0.095 & N_c &= 18.05 \\ N_q &= 8.66 & N_\gamma &= 8.20 \end{aligned}$$

Utilizamos la siguiente expresión:

$$q_c = 2/3 C N_c + \gamma D_f N_q + 1/2 \gamma B N_\gamma$$

Reemplazando valores tenemos:

$$q_c = 2/3(0.095) (18.05) + 0.75 (1.30)(8.66) + 1/2 (0.75) (1.00) 8.20$$

$$q_c = 2.43 \text{ Kg/cm}^2$$

384



PEDRO E. ALARCON FARFAN  
 INGENIERO CONSULTOR  
 REG. CIP. 41251  
 REG. CONSUCODE. CO 425

PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR.  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO 425

SL  
TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

Aplicando el Factor de Seguridad, tenemos:

$$q_a = 0.81 \text{ Kg/cm}^2$$

**DETERMINACION DE ASENTAMIENTOS.**

Los asentamientos se determinan en base a la teoría de la elasticidad (Lambe y Whitman), con la siguiente relación:

$$S = \Delta q_s \frac{B (1-\mu^2) l_w}{E_s}$$

donde:

- S = asentamiento (cm.)
- $\Delta q_s$  = esfuerzo transmisible (Tn/m<sup>2</sup>)
- B = ancho de cimentación (m)
- $E_s$  = módulo de elasticidad (Tn/m<sup>2</sup>)
- $\mu$  = relación de Poisson (–)
- $l_w$  = factor de forma (cm/m)

Las propiedades elásticas del suelo de cimentación, se asumen de tablas publicadas con valores, para el tipo de suelo existente, de donde tenemos, para la condición más desfavorable tenemos:

- $\Delta q_s$  = 8.10 (Tn/m<sup>2</sup>)
- B = 1.00 (m)
- $E_s$  = 900 (Tn/m<sup>2</sup>)
- $\mu$  = 0.30
- $l_w$  = 112

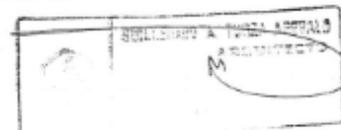
Reemplazando valores obtenemos

$$S = 0.92 \text{ cm.}$$

Por lo tanto, no habrá problemas por Asentamiento.

  
PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. 41251

  
CONSORCIO E & M  
Ing. Eduardo Gualá Cabrera  
C.I.P. 4966B  
GERENTE GENERAL



**PEDRO E. ALARCON FARFAN**  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO-425

TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

#### 4.2.- PROFUNDIDAD Y TIPO DE CIMENTACION

De acuerdo a los perfiles estratigráficos descritos anteriormente así como de acuerdo a las observaciones hechas en campo, para el presente Proyecto, se recomienda cimentar a 1.50 m. de profundidad con respecto del nivel natural de terreno más desfavorable.

La cimentación será a través de zapatas armadas conectadas y/o platea de cimentación, desplantada sobre suelo natural encontrado, previamente compactado al 95% de su MDS. (mínimo) para asegurar su uniformidad en la superficie de apoyo de las zapatas.

Para el caso de obras exteriores como losas, pisos y veredas, se recomienda eliminar 0.20 m. de capa superficial de terreno, compactar la subrasante en un espesor de 0.20 m. al 95% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Estándar, y colocar una capa de afirmado de 0.20 m de espesor, con material granular seleccionado tipo A-1-a(0) y compactado al 100% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Estándar, sobre la cual se colocará la losa de concreto.

#### 4.3.- PARAMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

El departamento de Cajamarca, se encuentra ubicado en la zona 3, en el mapa de zonificación sísmica del Perú.

Las fuerzas sísmicas o cortantes se determinarán de acuerdo a la siguiente expresión del R.N.C.:

$$H = \frac{Z \times U \times S \times C \times P}{R_d}$$

Donde:

- Z = Factor de zona.
- U = Factor de uso de importancia.
- S = Factor de suelo
- C = Coeficiente sísmico
- R<sub>d</sub> = Factor de ductilidad
- P = Peso de la edificación.

**PEDRO E. ALARCON FARFAN**  
INGENIERO CIVIL  
REG. CP. N° 41251

**CONSORCIO E & M**  
Ing. Eduardo Polson Calinera  
C.I.P. 15406  
GERENTE GENERAL



382

PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO 425

73 ~~74~~

TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

Para el presente caso el tipo de suelo de cimentación es III, con periodo  $T_s = 0.90$  y factor de suelo  $S = 1.4$ . De acuerdo al Reglamento Nacional de Construcciones, en la zona han ocurrido sismos de magnitud máxima de VI a VII en la Escala de Mercalli modificada (M.M.) desde 1550 a la fecha.

#### 4.4 - AGRESION DEL SUELO A LA CIMENTACION

Con respecto al análisis químico tenemos que:

Concreto Expuesto a Soluciones de Sulfatos

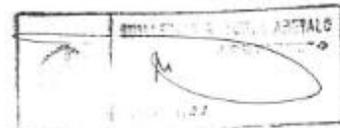
Sulfatos Solubles en términos de SO <sub>4</sub>	%	Tipo de Cemento Recomendable
Despreciable	0.00 a 0.10	sin limitaciones
Moderado	0.10 a 0.20	Tipo II
Severo	0.20 a 2.00	Tipo V
Muy Severo	Mayor = 2.00	Tipo V más puzolana

Como puede verse en los Anexos del Resultado de Análisis Químico, se presentan Sulfatos en el rango "despreciable" por lo que se puede utilizar cemento tipo I.

PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. N° 41251

CONSORCIO E & M  
Ing. Eduardo Guzmán Cabrera  
C.I.P. 49669  
GERENTE GENERAL

381



PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO425

72   
TELEF: 9990-73150  
TELEFAX: 477-7771

## 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Los suelos predominantes a nivel de cimentación, son arcillas inorgánicas de baja plasticidad, cuya capacidad portante es de 0.81 Kg/cm<sup>2</sup>.

2.- Para el presente Proyecto, se recomienda cimentar a 1.50 m. de profundidad con respecto del nivel natural de terreno más desfavorable.

La cimentación será a través de zapatas armadas conectadas, y/o platea de cimentación, desplantada sobre suelo natural encontrado, previamente compactado al 95% de su MDS. (mínimo) para asegurar su uniformidad en la superficie de apoyo de las zapatas.

3.- Se puede utilizar cemento tipo I en la preparación del concreto para la cimentación, de acuerdo con los resultados de Análisis Químicos.

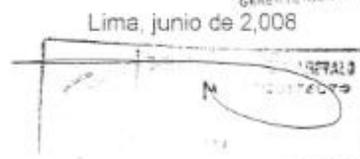
4.- Para el caso de obras exteriores como losas, pisos y veredas, se recomienda eliminar 0.20 m. de capa superficial de terreno, escarificar, eliminar impurezas y compactar la subrasante en un espesor de 0.20 m. al 95% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Estándar, y colocar una capa de afirmado de 0.20 m. de espesor, con material granular seleccionado tipo A-1-a(0) y compactado al 100% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Estándar, sobre la cual se colocará la losa de concreto.

5.- En caso de que se encontraran zonas puntuales divergentes, a las descritas en el presente estudio, se sobre-excavará hasta encontrar el tipo de suelo descrito en el presente estudio, apto para la cimentación.

6.- Se acompaña gráficos, resultados de análisis de laboratorio y fotografías que amplía lo expuesto en el presente informe, y que es válido solo para la zona estudiada.

  
PEDRO E. ALARCON FARFAN  
INGENIERO CONSULTOR  
REG. CIP. 41251  
REG. CONSUCODE. CO425

380



**Anexo N° 10: Formatos utilizados para las técnicas de recolección de datos.**

**CHECK-LIST**

**“HOTEL LOS PILANCONES”**

**TESIS:** “Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulos de fricción”

**UBICACIÓN:** Jr. Angamos 739- Cajamarca

**FECHA:** 20/05/19

**PLANOS:** Arquitectura

VERIFICACIONES PLANOS DE ARQUITECTURA	AMBIENTE	CANT.	AREA (m <sup>2</sup> )	CUMPLE	OBSERVACION
1° NIVEL	Recepción	1	16.00	SI	
	Baño	1	2.68	SI	
	Sala de star	1	26.71	SI	
	Pasadizos	1	10.20	SI	
	Hall	1	22.48	SI	
	Cochera	1	186.13	SI	
	Jardín	1	4.26	SI	
	Escalera	1	8.61	SI	
	Ascensor	1	3.08	SI	
2°, 3°, 4° Y 5° NIVEL	Habitación 01	1	17.08	SI	
	Baño 01	1	4.57	SI	
	Habitación 02	1	19.37	SI	
	Baño 02	1	4.57	SI	
	Habitación 03	1	19.12	SI	
	Baño 03	1	4.57	SI	
	Habitación 04	1	17.08	SI	
	Baño 04	1	4.57	SI	
	Habitación 05	1	19.37	SI	
	Baño 05	1	5.27	SI	
	Habitación 06	1	19.37	SI	
	Baño 06	1	4.57	SI	
	Pasadizos	1	16.35	SI	
	Escalera	1	8.61	SI	
	Ascensor	1	3.08	SI	
	Hall	1	22.48	SI	
	Ductos	3	70.35	SI	
AZOTEA	Azotea	1	110.38	SI	
	Lavandería	1	12.60	SI	
	Tendedero	1	34.36	SI	
	Hall	1	22.48	SI	
	Escalera	1	8.61	SI	
	Ascensor	1	3.08	SI	
	Ductos	3	70.35	SI	

## CHECK-LIST

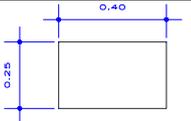
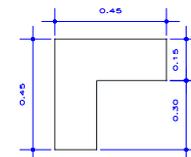
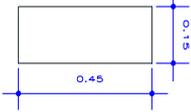
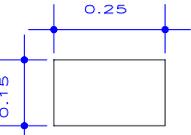
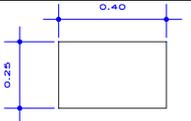
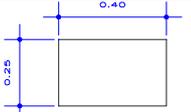
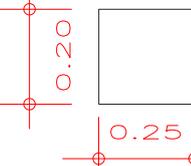
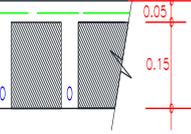
### “HOTEL LOS PILANCONES”

TESIS: “Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulos de fricción”

UBICACIÓN: Jr. Angamos 739- Cajamarca

FECHA: 20/05/19

PLANOS: Estructuras

VERIFICACIONES PLANOS DE ESTRUCTURAS	ELEMNTO	CANT.	AREA (m <sup>2</sup> )	CUMPLE	OBSERVACION
COLUMNA C1		1	0.40	SI	
COLUMNA C2		1	0.56	SI	
COLUMNA C3		1	0.35	SI	
COLUMNA C4		1	0.15	SI	
VIGA 101		1	0.40	SI	
VIGA 102		1	0.40	SI	
VIGA VA VA-1		1	0.05	SI	
	<b>ELEMNTO</b>	<b>CANT.</b>	<b>H (m)</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>OBSERVACION</b>
LOSA		5	0.20	SI	

**Anexo N° 11: Formatos utilizados para los instrumentos de análisis de datos.**

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
“Comportamiento sísmico de una edificación incorporando péndulo de fricción”			
<b>Periodos naturales</b>			
	<b>Módulo sin FPS</b>	<b>Módulo con FPS</b>	
<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>Period</b>	<b><math>\Delta</math> tiempo (seg)</b>
1			
2			
....			
12			
<b>Deformación lateral</b>			
	<b>Deformación lateral</b>		
	<b>UX (m)</b>	<b>UY (m)</b>	
	<b>Módulo – sin FPS</b>		
	<b>Módulo – con FPS</b>		
	<b><math>\Delta</math> Desplazado</b>		
	<b>% Reducción</b>		
<b>Fuerzas en las bases</b>			
	<b>Fuerzas en las bases</b>		
	<b>Max Drift X</b>	<b>Max Drift Y</b>	
	<b>Módulo - sin FPS</b>		
	<b>Módulo - con FPS</b>		
	<b><math>\Delta</math> Deriva</b>		
	<b>% <math>\Delta</math></b>		