

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS DE TRES EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE TARIJA
SOMETIDAS A UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL SIMULADAS
EN EL SOFTWARE SAP2000

POR:

CASTRO ESPINOZA SERGIO ANDRES

SEMESTRE I - 2025

Tarija – Bolivia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE TRES EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE TARIJA
SOMETIDAS A UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL SIMULADAS
EN EL SOFTWARE SAP2000”**

Por:

CASTRO ESPINOZA SERGIO ANDRES

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA PROYECTO DE ING. CIVIL II
CIV-502 (MENCIÓN ESTRUCTURAS)**

GESTIÓN ACADÉMICA SEMESTRE I – 2025

Tarija – Bolivia

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Sra. Wilma Espinoza Alcoba y Sr. Raul Castro Condori, por su amor incondicional, su sacrificio incansable y su inquebrantable fe en cada paso de mi vida. Su ejemplo de perseverancia y sus valores han sido la guía más valiosa, y su apoyo inquebrantable el motor que me impulsó a superar cada desafío. Este logro es, en esencia, la manifestación de todo lo que me han enseñado y entregado.

A mi amada hermana, Srta. Dalma Castro Espinoza, por su compañía leal, su alegría contagiosa y su comprensión en los momentos más exigentes. Tu aliento y el simple hecho de saber que cuento contigo, hicieron este camino mucho más liviano y significativo.

"Mi familia es mi inspiración, mi motivación y mi mayor felicidad."

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Problema	1
1.1.1. Planteamiento	1
1.1.2. Formulación.....	1
1.1.3. Sistematización.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General.....	2
1.2.2. Específicos.....	2
1.3. Justificación	2
1.3.1. Académica	2
1.3.2. Técnica.....	3
1.3.3. Social	3
1.4. Alcance	3
1.4.1. Hipótesis	3
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Análisis sísmico inelástico	5
2.2. El oscilador de un grado de libertad	6
2.3. Sistema de varios grados de libertad.....	6
2.4. Movimiento periódico.....	7
2.4.1. Movimiento armónico simple.....	7
2.4.2. El péndulo.....	7

2.4.3.	Oscilaciones amortiguadas	7
2.5.	Análisis plástico de las estructuras	8
2.6.	Procedimientos de análisis sísmico de estructuras	8
2.6.1.	Opciones para análisis inelásticos	9
2.6.2.	Análisis estático no lineal (Pushover)	9
2.7.	Demanda	10
2.7.1.	Amenaza sísmica en Bolivia.....	10
2.7.2.	Aceleración sísmica de Bolivia	12
2.7.3.	Clasificación de los suelos de cimentación	13
2.7.4.	Clasificación de edificios y estructuras	14
2.7.5.	Espectro de diseño	15
2.8.	Capacidad.....	17
2.8.1.	Análisis estático no lineal (Pushover)	17
2.8.2.	Cortante basal	27
2.8.3.	Peso sísmico efectivo	30
2.8.4.	Modelos constitutivos de los materiales	31
2.8.5.	Rótulas plásticas	35
2.9.	Desempeño.....	38
2.9.1.	Niveles de desempeño para elementos estructurales.....	39
2.9.2.	Niveles de desempeño para los elementos no estructurales	40
2.9.3.	Niveles de desempeño para las estructuras.....	40
2.10.	Sectorización de la curva de capacidad.....	41
2.11.	Deriva de piso.....	42
2.11.1.	Clasificación de la deriva de piso	43
CAPÍTULO III		44

3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN (MÉTODO PUSHOVER)	44
3.1.	Presentación de la información.....	44
3.1.1.	Descripción de las edificaciones.....	44
3.1.2.	Tipo de suelo	47
3.1.3.	Espectro de respuesta.....	47
3.1.4.	Dimensión y cantidad de acero de los elementos estructurales.....	53
3.1.5.	Cargas utilizadas en el modelo	64
3.1.6.	Peso sísmico efectivo de las edificaciones	71
3.1.7.	Centro de masa de cada nivel	72
3.1.8.	Cálculo del cortante basal y distribución.....	73
3.2.	Modelaje y análisis en SAP2000	78
3.2.1.	Modelado en 3D en AutoCAD	78
3.2.2.	Exportación del AutoCAD al SAP2000	78
3.2.3.	Definir los materiales a utilizar	80
3.2.4.	Definir las secciones de los elementos estructurales	81
3.2.5.	Definición de la membrana.....	84
3.2.6.	Restricción de la base del edificio	85
3.2.7.	Asignación de los centros de masa	86
3.2.8.	Definición de diafragmas.....	87
3.2.9.	Definición de los estados de carga	88
3.2.10.	Asignación de las cargas distribuidas	89
3.2.11.	Modificación de los casos de carga	91
3.2.12.	Añadir la función sísmica	95
3.2.13.	Asignación de rótulas plásticas	97
3.2.14.	Asignación de la fuente de masa.....	99

3.2.15.	Configuración del análisis	100
3.2.16.	Extracción de los resultados	102
CAPÍTULO IV		107
4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	107
4.1.	Clasificación de los modos de vibración	107
4.2.	Curvas de capacidad	109
4.2.1.	Edificio Corrado	109
4.2.2.	Edificio Parque Bolivar	110
4.2.3.	Edificio Pedro Antonio Flores.....	111
4.3.	Sectorización de la curva de capacidad	113
4.3.1.	Edificio Corrado	113
4.3.2.	Edificio Parque Bolivar	114
4.3.3.	Edificio Pedro Antonio Flores.....	116
4.4.	Deriva de piso	117
4.4.1.	Edificio Corrado	118
4.4.2.	Edificio Parque Bolivar	120
4.4.3.	Edificio Pedro Antonio Flores.....	122
4.5.	Nivel de daño	125
4.5.1.	Edificio Corrado	125
4.5.2.	Edificio Parque Bolivar	127
4.5.3.	Edificio Pedro Antonio Flores.....	129
CAPÍTULO V		132
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
5.1.	Conclusiones.....	132
5.2.	Recomendaciones	137

BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	141
ANEXO A-1. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE	142
ANEXO A-2. RESPALDO DE ESTUDIOS DE SUELOS	146
ANEXO A-3. PLANOS DE LAS TRES EDIFICACIONES	147

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Procedimientos para análisis sísmicos inelásticos.	5
Imagen 2. (a) fuerza aplicada; (b) movimiento del terreno.	6
Imagen 3. (a) Pórticos de cortante de 2 niveles; (b) Fuerzas sobre las 2 masas.	7
Imagen 4. Procedimiento de análisis sísmico inelástico.	9
Imagen 5. Tipos de sismo en el territorio boliviano.	11
Imagen 6. Aceleración sísmica en Bolivia y Tarija.	12
Imagen 7. Espectro elástico de pseudoaceleración parametrizado.	16
Imagen 8. Procedimiento Pushover.	18
Imagen 9. Tipos de modelos histeréticos.	19
Imagen 10. Coeficientes utilizados en ecuación de la amortiguación efectiva.	20
Imagen 11. Coeficientes utilizados en ecuaciones para periodos efectivos.	21
Imagen 12. Conversión del espectro de respuesta.	22
Imagen 13. Conversión del espectro de capacidad.	23
Imagen 14. Capacidad y demanda inicial de ADRS espectro.	24
Imagen 15. Representación bilineal de la capacidad espectro.	25
Imagen 16. Posible comportamiento de puntos usando MADRS.	26
Imagen 17. Modelo de esfuerzo/deformación del concreto confinado y no confinado.	31
Imagen 18. Modelo de histéresis de Takeda.	33
Imagen 19. Curva paramétrica simple esfuerzo/deformación para acero estructural.	33
Imagen 20. Modelo de histéresis cinemático.	35
Imagen 21. Parámetros de modelaje y criterios de aceptación para vigas.	36
Imagen 22. Parámetros de modelaje y criterios de aceptación para columnas.	37

Imagen 23. Parámetros de modelaje y criterios de aceptación para columnas.....	38
Imagen 24. Niveles de desempeño para las estructuras.....	40
Imagen 25. Sectorización de la curva de capacidad.	42
Imagen 26. Ubicación del edificio Corrado.....	45
Imagen 27. Ubicación del edificio Parque Bolivar.....	46
Imagen 28. Ubicación del edificio Pedro Antonio Flores.	47
Imagen 29. Sobre cargas de uso.	65
Imagen 30. Sobrecarga de uso de techos.	66
Imagen 31. Cálculo de cantidad de ladrillo.	66
Imagen 32. Edificio Corrado modelado en 3D AutoCAD.	78
Imagen 33. Selección del eje y unidades del modelo.	79
Imagen 34. Selección de las capas de vigas y columnas	79
Imagen 35. Modelo 3D del edificio Corrado.....	80
Imagen 36. Crear nuevo material.	80
Imagen 37. Características del material (hormigón).....	81
Imagen 38. Selección del tipo de sección.....	82
Imagen 39. Introducción de las secciones de columnas.	82
Imagen 40. Introducción de la cantidad de acero de refuerzo en columnas.	83
Imagen 41. Introducción de la cantidad de acero de refuerzo en columnas.	84
Imagen 42. Creación de membranas.....	85
Imagen 43. Restricción en la base de las tres edificaciones.	86
Imagen 44. Ubicación de las coordenadas del punto.....	86
Imagen 45. Introducción de las coordenadas del centro de masa de 1 nivel, edificio Corrado.	87
Imagen 46. Añadir nuevo diafragma rígido.....	87
Imagen 47. Insertar nuevo diafragma rígido.....	88
Imagen 48. Introducción de los patrones de cargas.	89
Imagen 49. Asignación de las cargas distribuidas.	89
Imagen 50. Introducción de cargas en área.	90
Imagen 51. Introducción de la fuerza lateral en dirección X.....	91
Imagen 52. Modificación del caso Modal.	92

Imagen 53. Configuración del caso Modal.....	92
Imagen 54. Creación del caso de cargas gravitacionales.....	93
Imagen 55. Creación del caso de cargas con el Pushover.	94
Imagen 56. Asignación del desplazamiento de control.	94
Imagen 57. Resultados a guardas según el análisis.	95
Imagen 58. Importar el espectro de diseño.....	96
Imagen 59. Configuración del espectro de diseño.....	96
Imagen 60. Añadir rótulas plásticas.	97
Imagen 61. Configuración de las rótulas plásticas en vigas.	98
Imagen 62. Configuración de rótulas plásticas en columnas.....	99
Imagen 63. Modificar la fuente de masa.	100
Imagen 64. Configuración de la fuente de masa.....	100
Imagen 65. Configuración de análisis.	101
Imagen 66. Inicio del análisis.	101
Imagen 67. Curva Pushover del edificio Corrado.	102
Imagen 68. Tabla de resultados de la curva de capacidad, edificio Corrado.....	103
Imagen 69. Mostrar las posibles rótulas plásticas.	104
Imagen 70. Rótulas plásticas en dirección X edificio Corrado.	104
Imagen 71. Rótulas plásticas en dirección Y edificio Corrado.	105
Imagen 72. Desplazamiento en el centro de masa, en un nivel “i” en un step “x”.....	106
Imagen 73. Nivel de daño en dirección X, paso 3, edificio Corrado.....	126
Imagen 74. Nivel de daño en dirección Y, paso 3, edificio Corrado.....	127
Imagen 75. Nivel de daño en dirección X, paso 5, edificio Parque Bolivar.....	128
Imagen 76. Nivel de daño en dirección Y, paso 6, edificio Parque Bolivar.....	129
Imagen 77. Nivel de daño en dirección X, paso 5, edificio Pedro Antonio Flores.	130
Imagen 78. Nivel de daño en dirección Y, paso 5, edificio Pedro Antonio Flores.	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de análisis para cálculo.	9
Tabla 2. Parámetros de clasificación de suelos.	14

Tabla 3. Factor de importancia.	15
Tabla 4. Parametrización del espectro elástico de pseudoaceleración.	17
Tabla 5. Coeficiente de periodo corto.....	27
Tabla 6. Coeficiente de reducción.	28
Tabla 7. Factor de periodo largo.....	29
Tabla 8. Coeficientes C_t y x	29
Tabla 9. Niveles de desempeño para estructuras.	41
Tabla 10. Nivel de desempeño en función a la deriva de piso y daño global.....	43
Tabla 11. Tipo de suelo de cimentación de cada edificación	47
Tabla 12. Resumen de los límites del espectro de diseño de cada edificación.....	48
Tabla 13. Valores del espectro de respuesta edificación Corrado.	48
Tabla 14. Valores del espectro de diseño edificio Parque Bolívar.	50
Tabla 15. Valores del espectro de respuesta edificio Pedro Antonio Flores.	52
Tabla 16. Resumen de dimensiones y armado del edificio Corrado.	53
Tabla 17. Resumen de dimensiones y armado del edificio Parque Bolívar.	54
Tabla 18. Resumen de dimensiones y armado del edificio Pedro Antonio Flores.	55
Tabla 19. Resumen de secciones y armado de vigas edificio Corrado.....	56
Tabla 20. Resumen de secciones y armado de vigas edificio Parque Bolívar.....	58
Tabla 21. Resumen de secciones y armado de vigas edificio Pedro Antonio Flores.	61
Tabla 22. Masa por cada nivel, edificio Corrado.....	72
Tabla 23. Masa por cada nivel, edificio Parque Bolivar.....	72
Tabla 24. Masa por cada nivel, edificio Pedro Antonio Flores.	72
Tabla 25. Centros de masas por nivel, edificio Corrado.	73
Tabla 26. Centros de masas por nivel, edificio Parque Bolívar.....	73
Tabla 27. Centros de masas por nivel, edificio Pedro Antonio Flores.	73
Tabla 28. Coeficientes de sitio de las tres edificaciones.	74
Tabla 29. Factor de modificación de respuesta de cada edificación.....	75
Tabla 30. Periodo fundamental y periodo largo de cada edificación.	75
Tabla 31. Coeficiente de respuesta sísmica de cada edificación.	76
Tabla 32. Cortante basal de cada edificación.	76
Tabla 33. Coeficiente "k" de cada edificación.....	77

Tabla 34. Distribución del cortante basal, edificio Corrado.....	77
Tabla 35. Distribución del cortante basal, edificio Parque Bolívar.....	77
Tabla 36. Distribución del cortante basal, edificio Pedro Antonio Flores.....	77
Tabla 37. Comportamiento dinámico, edificio Corrado.....	107
Tabla 38. Comportamiento dinámico, edificio Parque Bolivar.....	108
Tabla 39. Comportamiento dinámico, edificio Pedro Antonio Flores.....	108
Tabla 40. Desplazamientos objetivos.	109
Tabla 41. Desplazamientos en cada nivel en dirección en X, edificio Corrado.	118
Tabla 42. Desplazamiento en cada nivel en dirección en Y, edificio Corrado.....	118
Tabla 43. Desplazamiento en cada nivel en dirección X, edificio Parque Bolivar.	120
Tabla 44. Desplazamiento en cada nivel en dirección Y, edificio Parque Bolivar.	121
Tabla 45. Desplazamiento en cada nivel en dirección X, edificio Pedro Antonio Flores.	123
Tabla 46. Desplazamiento en cada nivel en dirección Y, edificio Pedro Antonio Flores.	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Edificio Corrado.	50
Gráfico 2. Edificio Parque Bolívar.	51
Gráfico 3. Edificio Pedro Antonio Flores.....	53
Gráfico 4. Curva de capacidad en dirección X, edificio Corrado.....	110
Gráfico 5. Curva de Capacidad en dirección Y, edificio Corrado.....	110
Gráfico 6. Curva de capacidad en dirección X, edificio Parque Bolivar.....	111
Gráfico 7. Curva de capacidad en dirección Y, edificio Parque Bolivar.....	111
Gráfico 8. Curva de capacidad en dirección X, edificio Pedro Antonio Flores.	112
Gráfico 9. Curva de capacidad en dirección Y, edificio Pedro Antonio Flores.	112
Gráfico 10. Sectorización de la curva de capacidad en dirección X, edificio Corrado.	113
Gráfico 11. Sectorización de la curva de capacidad en dirección Y, edificio Corrado.	114
Gráfico 12. Sectorización de la curva de capacidad en dirección X, edificio Parque Bolivar.	115
Gráfico 13. Sectorización de la curva de capacidad en dirección Y, edificio Parque Bolivar.	115

Gráfico 14. Sectorización de la curva de capacidad en dirección X, edificio Pedro Antonio Flores.	116
Gráfico 15. Sectorización de la curva de capacidad en dirección Y, edificio Pedro Antonio Flores	117
Gráfico 16. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección X, edificio Corrado.	119
Gráfico 17. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección Y, edificio Corrado.	119
Gráfico 18. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección Y, edificio Parque Bolivar.	121
Gráfico 19. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección Y, edificio Parque Bolivar.	122
Gráfico 20. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección X, edificio Pedro Antonio Flores.	124
Gráfico 21. Deriva de piso en el punto de desempeño, dirección Y, edificio Pedro Antonio Flores.	124