

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



**“DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA
APORTICADA DE 6 PISOS EN LA CIUDAD DE TARIJA, A TRAVÉS DE UN
ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL”**

Por:

RICARDO DEL CARPIO MARQUEZ

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

**“DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA
APORTICADA DE 6 PISOS EN LA CIUDAD DE TARIJA, A TRAVÉS DE UN
ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL”**

Por:

RICARDO DEL CARPIO MARQUEZ

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico en
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°
Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

DOCENTE CIV-502 PROYECTO DE ING. CIVIL II

.....
M.Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez
Gozalvez

**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro
Figueroa

**VICEDECANA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
M.Sc. Ing. Víctor Francisco Mostajo Rojas

.....
Ing. Juan Pablo Ayala Yáñez

.....
Ing. Lowrence Daniel Farfán Gómez

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, quienes constantemente me apoyaron y comprendieron en el transcurso de mi vida universitaria al igual que en el desarrollo del presente trabajo.

Agradecimientos:

Agradecer a mi familia y amistades por el apoyo brindado durante el desarrollo de mi carrera universitaria; a los docentes que me ayudaron a desarrollar el presente trabajo en todas sus etapas, y finalmente a la Sociedad Científica de Estudiantes de Ingeniería Civil, que cumpliendo su labor de apoyo a la investigación estudiantil fueron responsables indirectos de la elaboración de este Proyecto de Investigación.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1. El Problema	1
1.1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.2. Formulación del Problema	1
1.1.3. Sistematización del Problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación	2
1.3.1. Justificación Académica	2
1.3.2. Justificación Técnica	2
1.3.3. Justificación Social	2
1.4. Alcance del Estudio	2
1.4.1. Hipótesis	2
1.4.2. Restricciones y Limitaciones	2
1.5. Tipo de Estudio	3
1.6. Diseño de la investigación	3
1.7. Ámbito temporal y espacial	3
1.8. Variables	4
1.8.1. Operacionalización de variables	4
1.9. Fuentes y técnicas para la recolección de información	5
1.10. Tratamiento de la Información	5
2. MARCO TEORICO	7
2.1. Idealizaciones estructurales para el hormigón armado	7

2.1.1.	Idealización de la curva esfuerzo-deformación para el acero estructural.....	7
2.1.2.	Idealizaciones de la curva esfuerzo-deformación para el hormigón	9
2.2.	Modelamiento de rotulas plásticas.....	10
2.2.1.	Relación momento-curvatura	10
2.2.2.	Procedimiento para modelos no lineales en rotulas, según FEMA 356	11
2.3.	Niveles de desempeño sísmico.....	15
2.3.1.	Propuesta del comité VISION 2000.....	15
2.3.2.	Propuesta del ATC 40 y FEMA 356	17
2.4.	Niveles de movimientos sísmicos	21
2.4.1.	Propuesta del comité VISION 2000.....	21
2.4.2.	Propuesta del ATC 40.....	22
2.4.3.	Propuesta del FEMA 356	22
2.5.	Objetivos del desempeño sísmico	23
2.5.1.	Propuesta del comité VISION 2000.....	23
2.5.2.	Propuesta del ATC 40.....	23
2.5.3.	Propuesta del FEMA 356	24
2.6.	Métodos de análisis estructural.....	25
2.6.1.	Métodos lineales	25
2.6.2.	Métodos no lineales	27
2.7.	Capacidad estructural.....	28
2.8.	Demanda sísmica	29
2.9.	Métodos de evaluación de la capacidad estructural	30
2.9.1.	Método del espectro de capacidad.....	31
2.9.2.	Método del coeficiente de desplazamiento	32

2.9.3.	Método mejorado para la linealización equivalente	35
2.10.	Software ETABS	39
3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y RESULTADOS	41
3.1.	Análisis y diseño estructural	41
3.1.1.	Estructura de estudio	41
3.1.2.	Bases de cálculo	43
3.1.3.	Análisis modal	46
3.1.4.	Análisis estático	56
3.1.5.	Diseño de los elementos estructurales	58
3.2.	Análisis no-lineal	63
3.2.1.	Modelo estructural	63
3.2.2.	Designación de cargas	64
3.2.3.	Asignación de rotulas plásticas	69
3.2.4.	Curva de capacidad de la estructura	71
3.2.5.	Conversión de la curva de capacidad	71
3.2.6.	Punto de desempeño sísmico	72
3.2.7.	Ductilidad neta de la estructura	74
3.3.	Análisis de elementos estructurales más solicitados	75
3.3.1.	Análisis de las vigas más solicitadas	75
3.3.2.	Análisis de las columnas más solicitadas	80
3.3.3.	Análisis de la zapata más solicitada	85
3.4.	Análisis de variación de costo	93
3.4.1.	Análisis de rendimiento de materiales de los elementos de diseño	93
3.4.2.	Análisis de rendimiento de materiales de los elementos requeridos para la demanda sísmica	96

3.4.3.	Variación de costos.....	99
3.5.	Alternativa de solución	101
3.5.1.	Cuantía de acero en vigas.....	101
3.5.2.	Cuantía de acero en columnas	102
3.5.3.	Curva de capacidad de la estructura modificada	102
3.5.4.	Punto de desempeño sísmico de la estructura modificada	103
3.6.	Resumen de resultados.....	105
3.6.1.	Curva de capacidad de la estructura.....	105
3.6.2.	Punto de desempeño sísmico	106
3.6.3.	Variación de costo	106
3.6.4.	Deformación ultima de la estructura modificada	107
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
4.1.	Conclusiones.....	108
4.2.	Recomendaciones.....	109
	BIBLIOGRAFIA.....	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Idealización de aproximación elástica perfectamente plástica.	7
Figura 2. Idealización de aproximación trilineal.....	8
Figura 3. Idealización de curva completa.	8
Figura 4. Idealización de la relación esfuerzo-deformación.	9
Figura 5. Modelo esfuerzo-deformación para hormigón confinado y sin confinar.	10
Figura 6. Puntos notables para el diagrama trilineal momento-curvatura.	10
Figura 7. Curva tipo I para modelos no lineales en rotulas.....	11
Figura 8. Curva tipo II para modelos no lineales en rotulas.	12
Figura 9. Esquema de curva de capacidad de un pórtico espacial.	29
Figura 10. Diagrama espectro de respuesta.....	30
Figura 11. Representación del método espectro-capacidad de linealización equivalente.	32
Figura 12. Esquema que ilustra el proceso del método de coeficiente de desplazamiento, para estimar el desplazamiento objetivo.	34
Figura 13. Espectro de respuesta de aceleración (ADRS), que muestra los parámetros de periodo y amortiguación efectiva, junto con el espectro de capacidad.	35
Figura 14. Demanda ADRS inicial y el espectro de capacidad.	37
Figura 15. Representación bilineal del espectro de capacidad.....	38
Figura 16. Registro de posibles puntos de desempeño.	39
Figura 17. Visualización de los elementos finitos de la estructura y conectividad entre nudos, barras, Shell y malla de elementos finitos.	40
Figura 18. Vista tridimensional de la estructura generada con ETABS.	41
Figura 19. Vista en planta del modelo estructural, desarrollado en el software ETABS.	42
Figura 20. Vista en elevación de los ejes 1-A-G, desarrollado con el software ETABS.	42
Figura 21. Vista en elevación de los ejes A-1-6, desarrollado con el software ETABS.	43
Figura 22. Espectro de diseño para suelo tipo S3 y estructura tipo C.....	46
Figura 23. Resistencia característica del hormigón en el modelo, desarrollado con el software ETABS.	47
Figura 24. Definición para la losa en el modelo, desarrollado en el software ETABS. ..	48

Figura 25. Definición para el diafragma en el modelo, desarrollado con el software ETABS.	49
Figura 26. Modelado de los diafragmas rígidos, desarrollado con el software ETABS. .	49
Figura 27. Definición del patrón de cargas, desarrollado con el software ETABS.	50
Figura 28. Asignación de carga viva a los entresijos, desarrollado con el software ETABS.	50
Figura 29. Asignación de carga viva a la azotea, desarrollado con el software ETABS.	51
Figura 30. Asignación de carga muerta a entresijos, desarrollado con el software ETABS.	51
Figura 31. Asignación de carga muerta a la azotea, desarrollado con el software ETABS.	52
Figura 32. Asignación de restricciones en la base, desarrollado con el software ETABS.	52
Figura 33. Definición de la masa para el análisis sísmico del modelo, desarrollado con el software ETABS.	53
Figura 34. Modo de vibración 1 en el modelo, desarrollado con el software ETABS. ...	55
Figura 35. Modo de vibración 2 en el modelo, desarrollado con el software ETABS. ...	55
Figura 36. Fuerza cortante estática acumulada en el modelo, desarrollado con el software ETABS.	58
Figura 37. Vista tridimensional de la estructura generada con ETABS.	63
Figura 38. Designación de secciones transversales, desarrollado en el software ETABS.	64
Figura 39. Designación de cargas horizontales, desarrollado en el software ETABS.	66
Figura 40. Definición del caso no lineal “CGNL”, desarrollado en el software ETABS.	67
Figura 41. Definición del caso no lineal “AENL”, desarrollado en el software ETABS.	68
Figura 42. Definición del desplazamiento de control, desarrollado en el software ETABS.	68
Figura 43. Asignación de rotulas plásticas en vigas, desarrollado con el software ETABS.	69
Figura 44. Rotulas plásticas en vigas, desarrollado en el software ETABS.	69

Figura 45. Asignación de rotulas plásticas en columnas, desarrollado en el software ETABS.	70
Figura 46. Rotulas plásticas en columnas, desarrollado en el software ETABS.	70
Figura 47. Curva de capacidad de la estructura, desarrollado en el software ETABS. ...	71
Figura 48. Diagrama del espectro de capacidad en formato S_d vs S_a , desarrollado en el software ETABS.	72
Figura 49. Ubicación del punto de desempeño, desarrollado en el software ETABS.	73
Figura 50. Sectorización del espectro de capacidad.....	74
Figura 51. Rotulas plásticas formadas en vigas.	75
Figura 52. Falla de columnas en el primer piso de la estructura.	80
Figura 53. Roseta para flexión esviada en secciones con armadura simétrica en las dos caras.....	83
Figura 54. Curva de capacidad de la estructura modificada, desarrollado en el software ETABS	102
Figura 55. Ubicación del punto de desempeño de la estructura modificada, desarrollado con el software ETABS.....	103
Figura 56. Sectorización del espectro de capacidad de la estructura modificada.	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables planteadas	5
Tabla 2. Parámetros no lineales y criterios de aceptación para vigas de hormigón armado	12
Tabla 3. Parámetros no lineales y criterios de aceptación para columnas de hormigón armado.....	14
Tabla 4. Niveles de desempeño para el comité VISION 2000	17
Tabla 5. Niveles de desempeño para el ATC 40.....	21
Tabla 6. Movimiento sísmico de diseño	22
Tabla 7. Objetivos de desempeño sísmico de una estructura según comité VISION 2000	23
Tabla 8. Objetivos de desempeño sísmico de una estructura para ATC 40.....	24
Tabla 9. Objetivos de desempeño sísmico de una estructura según FEMA 356	25
Tabla 10. Propiedades constitutivas del hormigón armado	44
Tabla 11. Periodos y Pseudoaceleraciones para construir el espectro de diseño.	46
Tabla 12. Participación modal de la masa.....	54
Tabla 13. Reacciones en la base para peso propio, carga muerta y carga viva.....	56
Tabla 14. Periodos fundamentales y aceleraciones espectrales.	57
Tabla 15. Cortante basal en la dirección X e Y.....	57
Tabla 16. Estados limites últimos – Coeficientes de ponderación de las acciones.....	60
Tabla 17. Estados limites últimos – Coeficientes de minoración de la resistencia de los materiales.	60
Tabla 18. Resumen de diseño estructural de vigas.	61
Tabla 19. Resumen de diseño estructural de columnas.....	62
Tabla 20. Valores iniciales para el cálculo de la fuerza sísmica horizontal.....	65
Tabla 21. Calculo de la fuerza sísmica horizontal en cada entrepiso.....	65
Tabla 22. Valores de deformación elástica, ultima y ductilidad de la estructura.....	74
Tabla 23. Refuerzo de acero en las secciones criticas de vigas.	76
Tabla 24. Rendimiento de materiales para viga de diseño.....	94
Tabla 25. Rendimiento de materiales para columna de diseño.....	95
Tabla 26. Rendimiento de materiales para zapata de diseño.	96

Tabla 27. Rendimiento de materiales para viga diseñada para demanda sísmica.....	97
Tabla 28. Rendimiento de materiales para columna diseñada para demanda sísmica.	98
Tabla 29. Rendimiento de materiales para zapata diseñada para demanda sísmica.	99
Tabla 30. Tabla comparativa de costo de materiales en una viga.	99
Tabla 31. Tabla comparativa de costo de materiales en una columna.	100
Tabla 32. Tabla comparativa de costo de materiales en una zapata.....	100
Tabla 33. Valores característicos de la curva de capacidad de la estructura.....	105
Tabla 34. Detalles del Punto de desempeño sísmico	106
Tabla 35. Analisis de la variación de costo en los elementos estructurales,	106
Tabla 36. Valores característicos de la curva de capacidad de la estructura modificada.	107