

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN  
EDIFICIO DE HORMIGÓN ARMADO”**

**(Bloque de Medicina – Campus de la U.A.J.M.S.)**

**Realizado por:**

**HORACIO GALLARDO ALVARADO**

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

**Noviembre de 2013.**

**TARIJA – BOLIVIA**

**V°B°**

---

MSc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
DECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

---

MSc. Ing. Silvana Paz Ramírez  
VICEDECANA DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**TRIBUNAL**

---

Ing. Juan Gonzales Yevara

---

Ing. Víctor Mostajo Rojas

---

Ing. Arturo Dubravcic A.

El docente y el 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**

Con todo mi cariño y mi amor para la persona que hizo todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano siempre que lo necesitaba, a ti por siempre mi corazón y mi agradecimiento. Dedico esta tesis a mi querida madre Martha Alvarado Ruiz.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo nunca podría haber sido terminado sin la ayuda de muchas personas, en especial quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Fabián Cabrera Exeni por su valiosa ayuda en la preparación de la propuesta del trabajo, y al Ing. Javier Castellanos Vásquez, mi docente guía, por su apoyo durante todo el proceso desde el perfil hasta el informe final.

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
RESUMEN EJECUTIVO	
CAPÍTULO 1. EL OBJETO DE CONOCIMIENTO.....	1
1.1. El Problema.....	1
1.1.1. Planteamiento.....	1
1.1.2. Formulación.....	2
1.1.3. Sistematización.....	2
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Teórica.....	5
1.3.2. Metodológica.....	5
1.3.3. Práctica.....	5
1.4. Alcance.....	5
1.4.1. Tipo de estudio.....	5
1.4.2. Hipótesis de trabajo.....	5
1.4.3. Limitaciones.....	6
1.5. Localización.....	6
1.6. Fuentes de información.....	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Conceptos básicos de sismología.....	8
2.2. Causas de los sismos.....	9
2.2.1. Tectónica de Placas.....	10
2.2.2. Sismos de origen tectónico.....	12
2.3. Fallas geológicas.....	12
2.3.1. Definición.....	12
2.3.2. Tipos de falla.....	13
2.4. Ondas sísmicas.....	14
2.4.1. Ondas de cuerpo.....	14

2.4.2. Ondas superficiales.....	15
2.5. Instrumentos de medición y registros sísmicos.....	16
2.5.1. Acelerómetro .....	17
2.6. Medidas de los sismos .....	18
2.6.1. Magnitud .....	18
2.6.2. Intensidad.....	18
2.6.3. Relación entre Escala de Intensidad y Medida.....	20
2.7. Elementos estructurales elásticos e inelásticos .....	22
2.8. Comportamiento de Edificios de Hormigón armado durante sismos.....	28
2.8.1. Comportamiento bajo cargas cíclicas y dinámicas.....	28
2.8.2. Comportamiento sísmico de conexiones viga-columna.....	30
2.8.3. Comportamiento de conexiones exteriores.....	31
2.9. Características de los materiales .....	32
2.9.1. Propiedades relevantes .....	32
2.9.2. Hormigón .....	33
2.9.3. Acero .....	35
2.10. Movimientos sísmicos de diseño .....	37
2.11. Visión general del trabajo: Efectos sísmicos en los edificios .....	39
2.11.1. Características de la acción sísmica .....	39
<b>CAPÍTULO 3. MARCO PRÁCTICO .....</b>	<b>42</b>
3.1. Descripción del edificio analizado.....	42
3.2. Idealización de la estructura .....	43
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS MODAL .....</b>	<b>46</b>
4.1. Planteamiento .....	46
4.2. Ecuación de movimiento .....	46
4.3. Respuesta dinámica: análisis modal .....	49
4.3.1. Matriz modal y espectral.....	51
4.3.2. Factor de participación.....	51
4.4. Modos de vibración del edificio analizado.....	52
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE RESPUESTA .....</b>	<b>58</b>
5.1. Introducción.....	58

5.2. Obtención del espectro de respuesta.....	59
5.3. Espectro de respuesta de diseño y su construcción.....	60
5.4. Espectro de diseño según la Norma Boliviana de Diseño Sísmico NBDS – 2006..	61
5.5. Análisis de Espectro de Respuesta aplicado al Edificio de la carrera de medicina ..	63
5.5.1. Descripción del método .....	63
5.5.2. Concepto de fuerza lateral equivalente .....	64
5.5.3. Resultados obtenidos.....	65
5.6. Combinaciones modales.....	68
5.6.1. Método CQC (Combinación Cuadrática Completa) .....	68
5.6.2. Método GMC (Combinación Modal General) .....	68
5.6.3. Método SRSS (Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados).....	69
5.6.4. Método de la Suma Absoluta.....	69
5.6.5. Comparación de los resultados obtenidos con diferentes métodos de combinaciones modales .....	69
<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA .....</b>	<b>71</b>
6.1. Descripción del método .....	71
6.2. Función tiempo historia utilizada y resultados obtenidos .....	71
6.3. Comparación entre sismos simulados.....	76
<b>CAPÍTULO 7. ANÁLISIS PUSHOVER .....</b>	<b>78</b>
7.1. Descripción del método .....	78
7.2. Daño sísmico .....	78
7.2.1. Indicadores de daño.....	79
7.3. Secuencia de formación de rótulas plásticas .....	80
7.4. Curva pushover .....	84
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
8.1. Conclusiones .....	86
8.2. Recomendaciones.....	87
<b>ANEXOS</b>	
A-1. Fotografías del edificio	
A-2. Análisis Tiempo Historia	
A-3. Análisis Pushover	



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación del Bloque de Medicina (vista en planta) .....	6
Figura 2. Relación entre en Epicentro, Hipocentro, Fuente y Foco.....	9
Figura 3. Movimiento de las placas. (a) zona de expansión, (b) subducción.....	11
Figura 4. Teoría de placas.....	11
Figura 5. Falla geológica .....	13
Figura 6. Tipos de fallas geológicas según su desplazamiento .....	13
Figura 7. Deformaciones producidas por las ondas de cuerpo (a) onda P, (b) onda S .....	14
Figura 8. Deformaciones producidas por ondas superficiales: (a) Rayleigh, (b) Love .....	15
Figura 9. Sismógrafo.....	16
Figura 10. Acelerogramas correspondientes a las tres componentes de un sismo.....	17
Figura 11. Material: (a) linealmente elástico, (b) no linealmente elástico, (c) inelástico.....	22
Figura 12. Curva esfuerzo-deformación del acero.....	23
Figura 13. Curva esfuerzo-deformación del concreto no confinado.....	23
Figura 14. Efecto de carga y descarga, con inversión en el sentido de la fuerza.....	25
Figura 15. Relación momento-curvatura de una viga típica de concreto reforzado .....	26
Figura 16. Distribución de la curvatura de una viga en voladizo llevada a la falla .....	27
Figura 17. Curvas de histéresis esfuerzo-deformación de una viga de hormigón doblemente reforzada sometida a carga cíclica .....	29
Figura 18. Curvas esfuerzo-deformación para un elemento de hormigón sin confinar sometido a carga cíclica.....	29
Figura 19. Ensayos sobre conexiones interiores típicas, con refuerzo longitudinal continuo y ausencia de refuerzo a cortante en los nudos .....	31
Figura 20. Ejemplos de mecanismos de daño para conexiones exteriores en forma de "T": (a) barras de la viga dobladas hacia fuera de la región del nudo; (b) y (c) barras de la viga dobladas en la región del nudo; (d) barras con ganchos en los extremos: "mecanismo de cuña del hormigón" .....	32
Figura 21. Curva esfuerzo-deformación del concreto no confinado.....	33
Figura 22. Relación esfuerzo-deformación del hormigón para distintas velocidades de aplicación de la carga.....	34

Figura 23. Degradación del hormigón ante carga repetidas con alto nivel de esfuerzo .....	34
Figura 24. Efecto del confinamiento por refuerzo transversal en la curva esfuerzo- deformación del hormigón.....	35
Figura 25. Curvas esfuerzo-deformación del acero de refuerzo .....	36
Figura 26. Lazos de histéresis para el acero de refuerzo .....	36
Figura 27. Relación carga-deformación en una estructura .....	41
Figura 28. Bloque de la Carrera de Medicina (Campus Universitario) .....	42
Figura 29. Fachadas del Edificio de la Carrera de Medicina .....	43
Figura 30. Modelado de la unión viga-columna .....	44
Figura 31. Muro de H <sup>o</sup> A <sup>o</sup> en el sótano de la Estructura.....	44
Figura 32. Software utilizado. Sap2000 v16 .....	45
Figura 33. Modos de vibración de una estructura de varios niveles .....	47
Figura 34. Vibración libre de un sistema no amortiguado en su primer modo de vibración: (a) Pórtico de dos niveles; (b) Forma de la deformada en los instantes de tiempo a, b, c, d y e; (c) Coordenada modal $q_1(t)$ ; (d) Histograma de desplazamiento.....	49
Figura 35. Modo de vibración N° 1. (modo fundamental) .....	53
Figura 36. Modo de vibración N° 2.....	54
Figura 37. Modo de vibración N° 3.....	54
Figura 38. Modo de vibración N° 4.....	55
Figura 39. Modo de vibración N° 5.....	55
Figura 40. Modo de vibración N° 6.....	56
Figura 41. Diagrama de cortantes en modo de vibración 6 .....	57
Figura 42. Sistemas de un grado de libertad sometidos a una aceleración en su base.....	58
Figura 43. Cálculo del espectro de respuesta para temblor de El Centro .....	59
Figura 44. Espectro de desplazamientos para el temblor de El Centro , 1940.....	60
Figura 45. Aceleraciones sísmicas en el departamento de Tarija .....	62
Figura 46. Espectro de diseño Tipo 4( para suelo blando).....	62
Figura 47. Pórticos escogidos para la presentación de resultados.....	65
Figura 48. Reacciones en la base, Pórtico B.....	66
Figura 49. Reacciones en la base, Pórtico 2 .....	67
Figura 50. Verificación de los elementos en Sap2000.....	67

Figura 51. Definición de una función sinusoidal en Sap2000.....	71
Figura 52. Envolvente de los momentos flectores en los miembros del Pórtico B.....	72
Figura 53. Envolvente de los momentos flectores en los miembros del Pórtico 2 .....	73
Figura 54. Espectro de respuesta de la estructura .....	73
Figura 55. Desplazamiento vs. Tiempo para el nodo 210 .....	74
Figura 56. Pórtico B durante el análisis Tiempo Historia .....	75
Figura 57. Secuencia de formación de rótulas plásticas. Empuje en dirección X.....	82
Figura 58. Secuencia de formación de rótulas plásticas. Empuje en dirección Y.....	84
Figura 59. Curva Pushover .....	84

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Escala de Richter .....	19
Cuadro 2. Escala de Intensidad Mercalli Modificada.....	21
Cuadro 3. Frecuencias y periodos de vibración natural de la estructura .....	53
Cuadro 4. Reacciones en la base para cada modo de vibración .....	56
Cuadro 5. Ratios de participación modal de masa .....	57
Cuadro 6. Espectros de diseño Tipo 4 para diferentes tipos de suelo.....	63
Cuadro 7. Reacciones en la base del Pórtico B .....	66
Cuadro 8. Reacciones en la base del Pórtico 2.....	67
Cuadro 9. Comparación entre los métodos de combinaciones modales.....	69
Cuadro 10. Desplazamientos máximos para sismos simulados con diferentes períodos de duración (1.25, 1.0, 0.6 seg.).....	76