

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Determinación de la vulnerabilidad sísmica de la
Institución Educativa Secundaria Politécnico
Regional los Andes de la ciudad de Juliaca**

Coco Brandon Sanchez Mamani

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2025

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : MARKO ANTONIO LENGUA FERNANDEZ
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 23 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA SECUNDARIA POLITÉCNICO REGIONAL LOS ANDES DE LA CIUDAD DE JULIACA

Autor(es):

1. COCO BRANDON SANCHEZ MAMANI – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **18 %** de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir “SI”): 5 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☒ | NO ☐ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	21
1.1. Planteamiento y Formulación del problema	21
1.1.1. Problema general	23
1.1.2. Problemas específicos	23
1.2. Objetivos.....	23
1.2.1. Objetivo general.....	23
1.2.2. Objetivos específicos	24
1.3. Justificación e importancia	24
1.4. Limitaciones de la presente investigación	25
1.5. Hipótesis	25
1.5.1. Hipótesis general.....	25
1.5.2. Hipótesis específicas	25
1.6. Variables y operacionalización	25
1.6.1. Variables	25
1.6.2. Operacionalización	25
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. Antecedentes de la investigación	27
2.1.1. A nivel internacional	27
2.1.2. A nivel nacional.....	27

2.1.3.	A nivel regional	28
2.2.	Bases teóricas.....	28
2.2.1.	Sismos	28
2.2.2.	Sismicidad en el Perú.....	29
2.2.3.	Sismicidad en el departamento de Puno.....	30
2.2.4.	Vulnerabilidad sísmica.....	32
2.2.5.	Análisis dinámico	34
2.2.6.	Análisis estático no lineal de carga incremental	36
2.2.7.	Curvas de fragilidad.....	47
2.2.8.	Índice de daño esperado	50
2.2.9.	Costo de reparación.....	50
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		51
3.1.	Método, tipo o alcance de la investigación.....	51
3.1.1.	Método de la investigación.....	51
3.1.2.	Alcances de la investigación.....	51
3.2.	Diseño de investigación.....	51
3.2.1.	Tipo de diseño de investigación.....	51
3.3.	Población y muestra	52
3.3.1.	Población.....	52
3.3.2.	Muestra.....	52
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1.	Técnicas.....	52
3.4.2.	Instrumentos	53
3.5.	Procedimiento	53
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....		55
4.1.	Descripción del pabellón principal.....	55
4.1.1.	Descripción arquitectónica	55
4.1.2.	Descripción Estructural	57

4.2.	Modelo estructural del pabellón.....	60
4.3.	Análisis sísmico lineal.....	62
4.3.1.	Asignación de cargas gravitacionales	62
4.3.2.	Características de los materiales	66
4.3.3.	Parámetros del análisis lineal	67
4.3.4.	Peso sísmico de la edificación	68
4.3.5.	Análisis estático.....	68
4.3.6.	Análisis dinámico modal espectral	69
4.3.7.	Irregularidades Estructurales en altura.....	76
4.3.8.	Irregularidades Estructurales en planta	78
4.4.	Demanda sísmica.....	81
4.4.1.	Niveles de demanda sísmica.....	81
4.4.2.	Niveles Definición de niveles sísmicos en relación a la norma del RNE E 0.30-2018	81
4.4.3.	Construcción del Espectro de demanda sísmica	81
4.4.4.	Conversión del espectro de respuesta en formato ADRS.....	83
4.5.	Análisis estático no lineal de carga incremental	85
4.5.1.	Distribución de carga lateral para análisis estático no lineal	86
4.5.2.	No linealidad de los materiales.....	87
4.5.3.	No linealidad de los elementos estructurales.....	89
4.5.4.	Nodo de control para análisis estático no lineal.....	92
4.5.5.	Secuencia de formación de rotulas plásticas	92
4.6.	Curva de capacidad AENL	95
4.7.	Punto de desempeño.....	96
4.7.1.	Punto de desempeño según Método de los coeficientes de desplazamiento ...	96
4.8.	Curvas de fragilidad	97
4.8.1.	Estados de daños.....	97
4.8.2.	Construcción de curvas de fragilidad.....	97

4.8.3.	Cálculo de la matriz de probabilidad de daño.....	103
4.9.	Índice de daño esperado (curva de vulnerabilidad).....	105
4.10.	Costo de reparación probable (Estimación usando factores de daño)	106
4.11.	Discusión de resultados	109
CONCLUSIONES		112
RECOMENDACIONES		115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		116
ANEXOS.....		120
Anexo 01. Matriz de consistencia.....		120
Anexo 02. Planos.....		122
Anexo 03. Ensayo de suelos.....		138
Anexo 04. Esclerometría.....		153
Anexo 08. Panel fotográfico.....		165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cinturón de fuego	29
Figura 2. Esquema tectónico de las placas Nazca y Sudamericana	30
Figura 3. Últimos registros sísmicos en la ciudad de Juliaca	31
Figura 4. Placa Sudamericana y placa menor del altiplano	32
Figura 5. Modelo estructural	34
Figura 6. Método de combinación modal.....	35
Figura 7. Secuencia análisis no lineal Pushover	36
Figura 8. Curva capacidad.....	37
Figura 9. Espectro capacidad.....	38
Figura 10. Esquema del análisis Pushover	39
Figura 11. Esquema espectro capacidad	39
Figura 12. Modelo de Myer.....	40
Figura 13. Formulas empleadas en el modelo de Myer	40
Figura 14. Formulas empleadas en el modelo de Myer (2).....	41
Figura 15. Confinamiento efectivo del concreto	42
Figura 16. Confinamiento efectivo del concreto	42
Figura 17. Formulas del modelo Myer para secciones circulares.....	43
Figura 18. Modelo con Endurecimiento Parabólico	44
Figura 19. Diagrama esfuerzo concreto – esfuerzo acero	45
Figura 20. Obtención de puntos del diagrama momentos-curvaturas.....	46
Figura 21. Modelos bilineales - rotulas plásticas.....	46
Figura 22. Curvas de fragilidad	48
Figura 23. Curvas de fragilidad según aceleración del suelo	48
Figura 24. Formula de curva fragilidad.....	49
Figura 25. Los estados de daño para la curva de fragilidad	49

Figura 26. Costo de reparación por cada estado de daño	50
Figura 27. Esquema del procedimiento de investigación.....	54
Figura 28. Vista frontal del pabellón en análisis.	55
Figura 29. Vista posterior del pabellón en análisis.	56
Figura 30. Vista lateral del pabellón en análisis	56
Figura 31. Vista lateral del pabellón en análisis.....	56
Figura 32. Columnas del pabellón en análisis	57
Figura 33. Vigas del pabellón en análisis.....	58
Figura 34. Losas del pabellón en análisis.....	59
Figura 35. Puntal equivalente de muros de albañilería	59
Figura 36. Vista de elevación del modelo estructural del eje 1-1	60
Figura 37. Vista de elevación del modelo estructural del eje B-B.....	61
Figura 38. Vista isométrica de la estructura en estudio.....	61
Figura 39. Vista de elevación del modelo estructural del eje B-B.....	61
Figura 40. Vista de elevación del modelo estructural del eje 1-1 y 3-3	62
Figura 41. Vista de elevación del modelo estructural del eje 4 -4.....	62
Figura 42. Asignación de cargas distribuidas lineales de tabiquería eje A-A	65
Figura 43. Asignación de cargas distribuidas lineales de tabiquería eje B-B.....	65
Figura 44. Asignación de cargas distribuidas lineales de tabiquería eje C-C.....	65
Figura 45. Asignación de cargas distribuidas lineales de tabiquería eje 1-1	66
Figura 46. Espectro de pseudo aceleraciones	70
Figura 47. Primero modo fundamental traslacional X- X	72
Figura 48. Segundo modo fundamental traslacional Y – Y	72
Figura 49. Tercer modo fundamental rotacional Z- Z.....	72
Figura 50. Máximos desplazamientos de la estructura eje X	73
Figura 51. Máximo desplazamiento de la estructura eje Y	74

Figura 52. Cortante de la estructura eje X.....	74
Figura 53. Cortante de la estructura eje Y.....	75
Figura 54. Deriva de la estructura eje X-X.....	76
Figura 55. Deriva de la estructura eje Y-Y.....	76
Figura 56. Demanda sísmica	83
Figura 57. Demanda sísmica ATC 40 (ADRS)	85
Figura 58. Determinación de cargas de gravedad.....	86
Figura 59. Designación de patrón de carga - sentido X-X y sentido Y-Y.....	87
Figura 60. Diagrama esfuerzo deformación de Myer en columna C-1	88
Figura 61. Acero de las varillas corrugadas fluencia f_y :4200 kg/cm ² grado 60	88
Figura 62. Asignación de rotulas plásticas al 95% y 5% de la distancia de vigas	89
Figura 63. Rotulas en vigas	90
Figura 64. Asignación de rotulas plásticas al 95% y 5% de la distancia de cada columna....	90
Figura 65. Rotulas en las columnas	91
Figura 66. Asignación de rotulas de corte por efecto de columna corta	91
Figura 67. Asignación de t_c limits a puntales equivalentes de albañilería	92
Figura 68. Nodo de control de desplazamiento	92
Figura 69. Secuencia de formulación de rotulas plásticas en la dirección X-X.....	93
Figura 70. Generación de rotulas plásticas en “Y”	94
Figura 71. Curva de capacidad AENL	95
Figura 72. Punto de Desempeño sísmico Dirección X-X.....	96
Figura 73. Punto de Desempeño sísmico Dirección Y-Y.....	96
Figura 74. Curva de fragilidad en la dirección X	100
Figura 75. Curva de fragilidad en la dirección Y-Y	103
Figura 76. Curvas de fragilidad en el punto de desempeño en la dirección X-X	103
Figura 77. Curvas de fragilidad en el punto de desempeño en la dirección Y-Y	104

Figura 78. Índice de daño esperado en la dirección Y-Y	105
Figura 79. Índice de daño esperado en la dirección X-X	105
Figura 80. Columna C-1 0.28x0.43.	165
Figura 81. Columna C-2 0.28x0.43.	165
Figura 82. Columna C-1 0.28x0.43.	165
Figura 83. Ladrillo King Kong artesanal 6.5x12.5x20 juntas de 2 cm	166
Figura 84. Medida del eje 10-10, eje b-c de columna a columna en la dirección y-y 6.30 m	166
Figura 85. Medida del eje b-b, eje 1-2 de columna a columna en la dirección x-x 4.30 m..	166
Figura 86. Toma de medidas pasadizo y altura entepiso.	167
Figura 87. Junta de separación estructura aporticada- escaleras de acceso.....	167
Figura 88. Columna C-1 0.28x0.43.	167
Figura 89. Cálculo de peso por metro lineal ladrillo K.K.	168
Figura 90. Cálculo de peso por metro lineal ladrillo Pandereta.....	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	26
Tabla 2. Cargas superficiales consideradas para el análisis estructural	63
Tabla 3. Asignación de cargas gravitacionales por área.....	63
Tabla 4. Asignación de carga distribuida lineal por tabiquería en el sentido Y-Y.....	63
Tabla 5. Asignación de carga distribuida lineal por tabiquería en el sentido X-X.....	64
Tabla 6. Resistencia específica a la compresión del concreto en columnas	66
Tabla 7. Resistencia específica a la compresión del concreto en vigas.....	66
Tabla 8. Resistencias específicas a la compresión del concreto en losas	66
Tabla 9. Factores de zona “Z”	67
Tabla 10. Factores de suelo “S”	67
Tabla 11. Factores de coeficiente sísmico “C”	67
Tabla 12. Irregularidad estructural del modulo.....	68
Tabla 13. Valores del coeficiente de reducción sísmica “R”.....	68
Tabla 14. Peso de la estructura	68
Tabla 15. Análisis estático.....	69
Tabla 16. Distribuciones de fuerzas sísmicas en altura en “X”	69
Tabla 17. Distribuciones de fuerzas sísmicas en Altura en “Y”	69
Tabla 18. Espectro de pseudo aceleraciones.....	71
Tabla 19. Máximo desplazamiento de la estructura eje X.....	73
Tabla 20. Máximos desplazamientos de la estructura eje Y	73
Tabla 21. Cortantes dinámicas de la estructura	74
Tabla 22. Cortantes mínima de la estructura	75
Tabla 23. Desplazamientos laterales de la estructura eje X-X.....	75
Tabla 24. Desplazamientos laterales de la estructura eje Y-Y.....	76
Tabla 25. Irregularidades de Rigidez – Piso blando dirección X.....	77

Tabla 26. Irregularidades de Rigidez – Piso blando dirección Y	77
Tabla 27. Irregularidades de extrema Rigidez dirección X	77
Tabla 28. Irregularidad de extrema Rigidez dirección Y	77
Tabla 29. Irregularidad de masa o peso.....	78
Tabla 30. Irregularidad geométrica vertical dirección X.....	78
Tabla 31. Irregularidad geométrica vertical dirección Y	78
Tabla 32. Irregularidad torsional dirección X.....	79
Tabla 33. Irregularidad torsional dirección Y.....	79
Tabla 34. Irregularidad torsional extrema dirección X	79
Tabla 35. Irregularidad torsional extrema dirección Y	79
Tabla 36. Irregularidad esquinas entrantes	80
Tabla 37. Resumen de irregularidades en altura	80
Tabla 38. Resumen de irregularidades en planta	80
Tabla 39. Niveles de peligro sísmico	81
Tabla 40. Niveles de peligro sísmico	81
Tabla 41. Espectros elásticos para cada nivel de demanda sísmica.	82
Tabla 42. Nivel de demandas sísmicas ATC 40 (ADRS).....	83
Tabla 43. Valores de la curva de capacidad	95
Tabla 44. Desempeño según método de los coeficientes ASCE 41-13: X-X.....	96
Tabla 45. Desempeño según método de los coeficientes Y-Y.....	97
Tabla 46. Puntos de fluencia y colapso de la estructura de la representación bilineal.	97
Tabla 47. Estados de daño para la estructura.....	97
Tabla 48. Desviación estándar del logaritmo natural.	98
Tabla 49. Curva de fragilidad en la dirección X.....	98
Tabla 50 Curva de fragilidad en la dirección Y	100
Tabla 51. Probabilidad de daño de la estructura en análisis- dirección X-X.....	104

Tabla 52. Probabilidad de daño de la estructura en análisis- dirección Y-Y	104
Tabla 53. Tabla de valores del índice de daño esperado para diferentes demandas sísmicas	106
Tabla 54. Factor de daño medio para el pabellón principal en dirección “X-X”, sismo de servicio.....	107
Tabla 55. Factor de daño medio para el pabellón principal en dirección “Y-Y”, sismo de servicio.....	107
Tabla 56. Costo de reparación estimado para el pabellón principal para una demanda sísmica de sismo de servicio.....	107
Tabla 57. Factor de daño medio para el pabellón principal en dirección “X-X”, sismo de diseño.....	107
Tabla 58. Factor de daño medio para el pabellón principal en direccion “Y-Y”, sismo de serv diseño.....	108
Tabla 59. Costo de reparación estimado para el pabellón principal para una demanda sísmica de sismo de diseño.....	108
Tabla 60. Factor de daño medio para el pabellón principal en dirección “X-X”, sismo de máximo.....	108
Tabla 61. Factor de daño medio para el pabellón principal en direccion “Y-Y”, sismo de máximo.....	108
Tabla 62. Costo de reparación estimado para el pabellón principal para una demanda sísmica de sismo de máximo.....	108

RESUMEN

El presente estudio, tuvo el objetivo principal de determinar la vulnerabilidad sísmica de pabellón principal de la Institución Educativa Secundaria Politécnico Regional Los Andes de la ciudad de Juliaca. La metodología de investigación que se empleo fue con el método científico e hipotético-deductivo, el tipo fue cuantitativo y cualitativo, el nivel fue descriptivo y un diseño no experimental, además este estudio se enfoca en la determinación de la vulnerabilidad sísmica mediante la evaluación de curvas de fragilidad analítica en los cuatro estados de daño sísmico (Ligero, moderado, extensivo y colapso). Se desarrolló una metodología probabilística para predecir daños sísmicos mediante una matriz de probabilidad de daño y posteriormente estimar gastos de reparación de los componentes estructurales dañados en función del costo de reemplazo acorde a la Unión Europea. Se realizaron análisis lineal dinámico modal espectral y análisis estático no lineal de carga incremental (Pushover), evaluando el desempeño bajo el ASCE 41-13. En la dirección X-X (pórticos de concreto armado con interacción tabique-pórtico), NO CUMPLE con los requisitos de la norma sismo resistente. El desempeño es el COLAPSO para las demandas sísmicas de servicio, diseño y máximo. En la dirección Y-Y (pórticos de concreto armado con interacción tabique-pórtico). El desempeño varía desde el COLAPSO para un sismo de diseño y máximo y RESGUARDO DE VIDA para un sismo de servicio. La curva de fragilidad se realiza acorde a la Unión Europea. En Y-Y, para el Sismo de servicio, existe el 43.05 % de probabilidad que se encuentre en un estado EXTENSIVO. En X-X, existe el 50.00 % que se encuentre en COMPLETO. Se estima que en X-X, la inversión promedio de reparación de los componentes estructurales dañados equivale al 75.00 % del costo de reemplazo total de los elementos estructurales dañados, mientras que en Y-Y, equivale al 35.00 % el coste de reparación del daño excede el 50% del coste de reposición de la estructura, por lo que se considera más eficaz y rentable , demoler y reconstruir que realizar el reforzamiento estructural, lo que se interpreta que la estructura de estudio es altamente vulnerable frente a sismos. Las conclusiones del análisis estructural del pabellón principal de la Institución Educativa Secundaria Politécnico Regional Los Andes de Juliaca, reveló que no cumple con la normativa E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y presenta una vulnerabilidad alta, además estos resultados indican una insuficiencia en la resistencia sísmica de la edificación, comprometida posiblemente por un diseño estructural inadecuado, procedimientos constructivos deficientes o materiales de baja calidad.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, Estado de daños, análisis estático no lineal, curvas de fragilidad.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the seismic vulnerability of the main building of the Polytechnic Regional Secondary School Los Andes in the city of Juliaca. The research methodology used was the scientific and hypothetical-deductive method, the type was quantitative and qualitative, the level was descriptive and a non-experimental design, in addition this study focuses on the determination of seismic vulnerability by evaluating analytical fragility curves in the four states of seismic damage (light, moderate, extensive and collapse). A probabilistic methodology was developed to predict seismic damage using a damage probability matrix and subsequently estimate repair costs of the damaged structural components based on the replacement cost according to the European Union. Linear dynamic modal spectral analysis and nonlinear static incremental load analysis (Pushover) were performed, evaluating the performance under ASCE 41-13. In the X-X direction (reinforced concrete frames with partition-frame interaction), it DOES NOT MEET the requirements of the earthquake-resistant standard. The performance is COLLAPSE for the service, design and maximum seismic demands. In the Y-Y direction (reinforced concrete frames with partition-frame interaction) Performance varies from COLLAPSE for a design and maximum earthquake and LIFE SAFETY for a service earthquake. The fragility curve is carried out according to the European Union. In Y-Y, for the Service Earthquake, there is a 43.05% probability that it is in an EXTENSIVE state. In X-X, there is a 50.00% probability that it is in COMPLETE. It is estimated that in X-X, the average investment in repairing damaged structural components is equivalent to 75.00% of the total replacement cost of damaged structural elements, while in Y-Y, it is equivalent to 35.00% the cost of repairing the damage exceeds 50% of the replacement cost of the structure, so it is considered more effective and profitable to demolish and rebuild than to carry out structural reinforcement, which is interpreted that the structure under study is highly vulnerable to earthquakes. The conclusions of the structural analysis of the main pavilion of the Polytechnic Regional Los Andes Secondary Educational Institution in Juliaca revealed that it does not comply with the E.030 regulation of the National Building Regulations (RNE) and presents a high vulnerability, in addition these results indicate an insufficiency in the seismic resistance of the building, possibly compromised by an inadequate structural design, deficient construction procedures or low-quality materials.

Keywords: Seismic vulnerability, Damage status, nonlinear static analysis, fragility curves.