

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE
CINCO TANQUES ELEVADOS SEGÚN LAS NORMAS NB 1225001 Y
CBH - 87, EN EL MUNICIPIO DE SAN LORENZO"**

Por:

JHOEL LIMBERTH SANDOVAL MAMANI

SEMESTRE I - 2026

TARIJA - BOLIVIA

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

**"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE
CINCO TANQUES ELEVADOS SEGÚN LAS NORMAS NB 1225001 Y
CBH - 87, EN EL MUNICIPIO DE SAN LORENZO"**

Por:

JHOEL LIMBERTH SANDOVAL MAMANI

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

SEMESTRE I - 2026

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a Dios por ser mi guía y mi faro en los momentos difíciles.

A mi madre, por ser mi pilar fundamental, por su amor inmenso y sus palabras que siempre supieron darme aliento en todo momento.

A mi padre, por su apoyo firme y sus enseñanzas a lo largo de este camino.

A mis hermanos, por su compañía, su confianza en mí y por motivarme cada día a seguir adelante.

ÍNDICE

Hoja de aprobación	III
Hoja de advertencia	IV
Dedicatoria.....	V
Resumen	VI

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES	1
1.1. Problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.1.3. Sistematización del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. Académica	4
1.3.2. Técnica.....	4
1.3.3. Social	4
1.4. Alcance del proyecto	5
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Resultados a lograr	5
1.4.3. Limitaciones	5
1.4.4. Aporte académico	6
1.5. Localización.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Levantamiento topográfico	8
2.2. Estudio de suelos	8
2.3. Tanques de almacenamiento	9
2.3.1. Generalidades	9
2.3.2. Ubicación de tanques de almacenamiento.....	10
2.3.3. Análisis estructural de los tanques rectangulares	10
2.4. Filosofías de las normativas bolivianas	11
2.4.1. Filosofía de la Normativa CBH – 87	11
2.4.2. Filosofía de la normativa NB 1225001	12
2.4.3. Diferencia entre filosofías normativas.....	13
2.5. Diseño estructural	14
2.5.1. Materiales	14
2.5.2. Acciones	17
2.5.3. Metodología de diseño según CBH – 87	18
2.5.4. Metodología de diseño según NB 1225001.....	22
2.5.5. Diseño de elementos estructurales según CBH-87.....	26
2.5.6. Diseño de elementos estructurales según NB 1225001.....	35
2.6. Estrategia para la ejecución del proyecto.....	43
2.6.1. Especificaciones técnicas	43
2.6.2. Precios unitarios	43
2.6.3. Cómputos métricos	43
2.6.4. Presupuesto	44
2.6.5. Planeamiento y cronograma	44

CAPÍTULO III

3.	INGENIERÍA DEL PROYECTO	45
3.1.	Análisis de la topografía	45
3.2.	Análisis del estudio de suelos	45
3.3.	Planteamiento estructural.....	45
3.3.1.	Normas consideradas.....	45
3.3.2.	Materiales empleados	46
3.3.3.	Justificación de la altura del tanque (criterio hidráulico)	46
3.3.4.	Estudio y cálculo de la separación de vigas de arriostre	48
3.3.5.	Propuesta de tipología estructural	51
3.4.	Análisis y diseño estructural	52
3.4.1.	Análisis de cargas	52
3.4.2.	Predimensionamiento de elementos estructurales	55
3.4.3.	Diseño estructural	57
3.4.4.	Diseño de cimentaciones	78
3.5.	Análisis de resultados	83
3.5.1.	Filosofías normativas.....	83
3.5.2.	Resultados del análisis estructural.....	83
3.5.3.	Explicación de los resultados del análisis estructural.....	85
3.5.4.	Resultados del diseño estructural	85
3.5.5.	Explicación de los resultados del diseño estructural	88
3.5.6.	Comparación de costos aproximados de materiales	91
3.6.	Desarrollo de la estrategia para la ejecución de la obra.....	92
3.6.1.	Especificaciones técnicas	92
3.6.2.	Cómputos métricos	92

3.6.3.	Análisis de precios unitarios	92
3.6.4.	Presupuesto general de la obra	92
3.6.5.	Cronograma de ejecución	93

CAPÍTULO IV

4.	APORTE ACADEMICO	94
4.1.	Generalidades	94
4.2.	Comparación de parámetros hidrodinámicos y su influencia en el cortante y momento basal según ACI 350 y Eurocódigo 8	94
4.2.1.	Teoría de Housner	95
4.3.	Resultados del tanque elevado rectangular	97
4.3.1.	Datos generales	97
4.3.2.	Dimensiones geométricas	97
4.3.3.	Peso de los elementos estructurales	99
4.3.4.	Parámetros hidrodinámicos	99
4.3.5.	Espectro elástico de diseño sísmico	99
4.3.6.	Modelo de elementos finitos	101
4.3.7.	Cortante basal y momento en la base	104
4.4.	Análisis e interpretación de resultados	104
4.4.1.	Resultados de la comparación de la norma ACI 350.03-06 y Eurocódigo 8....	104

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de los tanques elevados.....	6
Tabla 2. Tabla universal para flexión simple o compuesta	27
Tabla 3. Cuantías geométricas, mínimas, en tanto por mil.....	28
Tabla 4. Resumen de verificación hidráulica en nodos principales de la red de distribución.	47
Tabla 5. Parámetros de diseño para la evaluación de esbeltez.	48
Tabla 6. Evaluación de la esbeltez considerando la variación del factor k	50
Tabla 7. Altura mínima de vigas no preesforzados	55
Tabla 8. Espesor mínimo de losas macizas no pretensadas.....	56
Tabla 9. Parámetros generales de diseño de la losa maciza según CBH-87.....	58
Tabla 10. Parámetros generales para el diseño de la losa maciza según NB 1225001.....	60
Tabla 11. Parámetros generales de diseño de la viga conforme a la CBH-87.....	63
Tabla 12. Parámetros generales para el diseño de la viga según NB 1225001	66
Tabla 13. Parámetros de diseño para el cálculo de la columna según CBH-87	69
Tabla 14. Síntesis del análisis y diseño de la columna rectangular según CBH-87	70
Tabla 15. Parámetros de diseño de la columna según NB 1225001.....	72
Tabla 16. Esfuerzos en la columna bajo distintas combinaciones de carga	72
Tabla 17. Parámetros y acciones de diseño para zapata aislada según CBH-87	78
Tabla 18. Síntesis de resultados del diseño de zapata aislada según CBH-87	79
Tabla 19. Parámetros y acciones de diseño para zapata aislada según NB 1225001	80
Tabla 20. Síntesis de resultados del diseño de zapata aislada conforme a la NB 1225001.....	81
Tabla 21. Resumen del diseño y armado de zapatas aisladas de los tanques elevados	82
Tabla 22. Comparación de Filosofías Normativas	83
Tabla 23. Fuerzas y momentos en las columnas según los dos códigos de diseño	84
Tabla 24. Fuerzas y momentos en las vigas según los dos códigos de diseño	84
Tabla 25. Cantidades de acero y hormigón en los elementos estructurales.....	86
Tabla 26. Cantidad total de acero de refuerzo y hormigón obtenida.....	88
Tabla 27. Cuantía de obra de losas según ambos códigos de diseño.....	88
Tabla 28. Cuantía de obra de muros según ambos códigos de diseño.....	89
Tabla 29. Cuantía de obra de columnas según ambos códigos de diseño	89
Tabla 30. Cuantía de obra de vigas según ambos códigos de diseño	90

Tabla 31. Cuantía de obra de cimentación según ambos códigos de diseño	90
Tabla 32. Costos unitarios aproximados de materiales	91
Tabla 33. Costo total aproximado de materiales, usando CBH-87 y NB 1225001	91
Tabla 34. Datos generales del tanque rectangular	97
Tabla 35. Dimensiones del tanque rectangular.....	97
Tabla 36. Pesos de los elementos, tanque rectangular.....	99
Tabla 37. Parámetros hidrodinámicos del tanque rectangular.....	99
Tabla 38. Periodos y frecuencias del modelo de elementos finitos (SAP 2000).....	103
Tabla 39. Resumen de periodos impulsivos y convectivos del tanque rectangular.....	103
Tabla 40. Resumen de cortante y momento flector basal.....	104
Tabla 41. Análisis de los valores cortantes y momentos en la base.	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de ubicación general	7
Figura 2. Tipos de tanques de almacenamiento.....	9
Figura 3. Análisis de la cuba de un tanque elevado	10
Figura 4. Diagrama de dominios de deformación en una sección.....	21
Figura 5. Análisis de dominios de deformación según CBH - 87	22
Figura 6. Factor de minoración para flexión y carga axial.....	24
Figura 7. Variación de ϕ en función de la deformación de la armadura traccionada.....	24
Figura 8. Distribución de esfuerzos propuesta por Whitney	25
Figura 9. Nomogramas para determinar el factor k de longitud efectiva.....	30
Figura 10. Método del bloque rectangular de compresiones.....	35
Figura 11. Curva de interacción para el diseño de columnas sometidos a flexo-compresión.	39
Figura 12. Red de distribución del sistema y comportamiento hidráulico	47
Figura 13. Comportamiento estructural: Falla por aplastamiento frente a falla por pandeo ...	48
Figura 14. Relación entre capacidad axial y longitud efectiva de pandeo	49
Figura 15. Modelo estructural idealizado y deformada global por tramos de la columna	49
Figura 16. Transición entre la geometría arquitectónica y la simplificación estructural	51
Figura 17. Sobrecarga viva sobre losa superior.....	52
Figura 18. Presión hidrostática sobre losa inferior y muros.....	53
Figura 19. Distribución de presiones de viento sobre la estructura del tanque elevado.....	54
Figura 20. Descomposición estructural del tanque elevado con dimensiones adoptadas	57
Figura 21. Momentos en ambas direcciones en la losa base según CBH-87	58
Figura 22. Momentos en ambas direcciones en la losa base según NB 1225001	60
Figura 23. Distribución de momentos en la viga según CBH-87.....	63
Figura 24. Distribución de momentos en la viga según NB 1225001.....	66
Figura 25. Detalle de disposición de armadura longitudinal de columna	73
Figura 26. Diagrama de interacción para columna de 25x25cm	74
Figura 27. Diagrama de deflexión en la viga más solicitada.....	76
Figura 28. Diagrama de deflexión en la losa más solicitada	77
Figura 29. Comparación de volúmenes de hormigón según los dos códigos de diseño	87
Figura 30. Comparación de cantidad de acero según los dos códigos de diseño	87

Figura 31. Modelo simplificado de idealización masa resorte	96
Figura 32. Sistema mecánico equivalente de G.W. Housner	96
Figura 33. Vista en elevación del reservorio rectangular	98
Figura 34. Espectro de diseño sísmico reservorio rectangular según ACI 350.03-06	100
Figura 35. Espectro de diseño sísmico reservorio rectangular según Eurocódigo 08	100
Figura 36. Modelado e idealización del reservorio rectangular	101
Figura 37. Cuatro primeros modos vibración del tanque rectangular elevado con los parámetros calculados según ACI 350.3-06 y Eurocódigo 8	102
Figura 38. Graficas de cortante y momento basal del tanque elevado rectangular	105

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Matriz PCES
- Anexo 2.** Carta de solicitud de información
- Anexo 3.** Carta de respuesta a la solicitud
- Anexo 4.** Informe topográfico
- Anexo 5.** Estudio de suelos
- Anexo 6.** Memoria de calculo
- Anexo 7.** Especificaciones técnicas
- Anexo 8.** Cómputos métricos
- Anexo 9.** Precios unitarios
- Anexo 10.** Presupuesto general
- Anexo 11.** Cronograma de ejecución del proyecto
- Anexo 12.** Planos estructurales