

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**



**“ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN  
TANQUE ELEVADO SEGÚN LAS NORMAS CBH-87 Y NB 1225001, EN EL  
MUNICIPIO DE YACUIBA”**

**Por:**

**VILLA TAPIA KATHERINE ALEJANDRA**

**SEMESTRE I - 2022**

**Tarija-Bolivia**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**

**“ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN  
TANQUE ELEVADO SEGÚN LAS NORMAS CBH-87 Y NB 1225001, EN EL  
MUNICIPIO DE YACUIBA”**

**Por:**

**VILLA TAPIA KATHERINE ALEJANDRA**

**SEMESTRE I – 2022**

**Tarija-Bolivia**

## **Dedicatoria**

A mis padres Maximiliano Villa y Gloria Tapia por su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos y por su eterna paciencia.

A mi hermano Antony, porque es la razón de sentirme tan orgullosa de culminar mi meta, gracias a ti por confiar siempre en mí.

A mi abuelita Victoria, que ahora es un ángel en mi vida, quien siempre me transmitía amor, me daba fuerzas para seguir adelante y luchar por cada una de mis metas.

## ÍNDICE

Ética de autoría .....	I
Dedicatoria.....	II
Agradecimiento .....	III
Pensamiento.....	IV
Resumen .....	V

### CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

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 .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1.- Objetivo General.....	2
1.2.2.- Objetivos Específicos.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.1.- Académica.....	3
1.3.2.- Técnica.....	3
1.3.3.- Social.....	3
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.4.1.- Consideraciones Generales .....	3
1.4.2.- Análisis de alternativas .....	4
1.4.3.- Resultados a lograr.....	4
1.4.4.- Aporte Académico .....	4
1.5 LOCALIZACIÓN.....	5

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	7
2.2 ESTUDIO DE SUELOS .....	7
2.2.1.- Clasificación del suelo .....	7
2.2.2.- Mejoramiento del suelo.....	8
2.3 DISEÑO ARQUITECTÓNICO .....	9
2.3.1.- Forma del tanque.....	9
2.3.2.- Sistema de tanques elevados .....	9
2.3.3.- Tanque elevado .....	10
2.3.4.- Aspectos Complementarios .....	11
2.4 DISEÑO ESTRUCTURAL .....	12
2.4.1.- Definición de las cargas y fuerzas .....	12
2.4.2.- Sismicidad.....	14
2.4.3.- Estructura de sustentación de la edificación .....	16
2.4.4.- Fundaciones .....	18
2.4.5.- Esfuerzos a los que se someten las vigas .....	21
2.4.6.- Esfuerzos a los que se someten los pilares.....	23
2.4.7.- Esfuerzos a los que se somete la fundación .....	24
2.4.8.- Materiales utilizados .....	25
2.5 ESTRATEGIA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO .....	28
2.5.1.- Especificaciones técnicas.....	28
2.5.2.- Precios unitarios.....	28
2.5.3.- Cómputos métricos .....	29
2.5.4.- Presupuesto .....	29

2.5.5.- Planeamiento y cronograma de obra.....	30
--	----

### **CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO**

3.1 ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	31
3.2 ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE SUELOS.....	31
3.2.1.-Mejoramiento del suelo.....	32
3.3 ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO.....	36
3.4 PLANTEAMIENTO ESTRUCTURAL.....	36
3.4.1.- Descripción de la estructura de sustentación.....	36
3.4.2.- Normas aplicables.....	37
3.4.3.- Parámetros de diseño.....	37
3.5 ANÁLISIS, CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL.....	37
3.5.1.- Análisis de cargas.....	37
3.5.2.- Carga de granizo.....	41
3.5.3.- Cargas del viento.....	42
3.5.4.- Análisis sísmico.....	44
3.5.5.- Cálculo de la adherencia de la armadura con el hormigón.....	48
3.5.6.- Comprobación de esfuerzos máximos del pórtico más solicitado.....	51
3.5.7.- Verificación manual de los elementos de la estructura porticada.....	57
3.5.8.- Cuantía especificada por cada nivel del tanque.....	149
3.6.- CONTROL DE FISURAS PARA LA CONDICIÓN DE CARGA ÚNICA.....	150
3.6.1.- Armadura mínima para el control de la fisuración.....	152
3.6.2.- Abertura de fisuras de esfuerzo cortante.....	152

### **CAPÍTULO IV: APORTE ACADÉMICO**

4.1 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL DE LA LOSA ALIVIANADA.....	154
--	-----

4.2 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL DE LA LOSA MACIZA .....	156
4.3 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL DE LA VIGA MÁS CRÍTICA.....	162
4.4 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL DE LA COLUMNA MÁS CRÍTICA.....	163
4.5 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL DE LA LOSA DE FUNDACIÓN .....	164
4.6 TABLA DE RESULTADOS DE TODOS LOS ELEMENTOS DEL TANQUE....	169
4.6.1.- Resultados con la Norma CBH-87.....	169
4.6.2.- Resultados con la Norma 1225001 .....	177
4.7 CUANTÍA TOTAL .....	184
4.7.1.- Cuantía total con la Norma CBH-87.....	184
4.7.2.- Cuantía total con la Norma NB 1225001.....	184
4.8 PRESUPUESTO.....	186
4.8.1.- Presupuesto obtenido con la Norma CBH-87 .....	186
4.8.2.- Presupuesto obtenido con la Norma 1225001 .....	187
CONCLUSIONES .....	189
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Bolivia y la ubicación de Yacuiba Provincia Gran Chaco. ....	5
Figura 2. Mapa de la Provincia Gran Chaco con sus Municipios. ....	5
Figura 3. Emplazamiento del tanque elevado.....	6
Figura 4. Cargas actuantes en el tanque. ....	13
Figura 5. Cargas transmitidas a las paredes del tanque. ....	13
Figura 6. Espectros de amplificación dinámica de pseudoaceleraciones. ....	15
Figura 7. Tipos comunes de losas de fundación. ....	20
Figura 8. Distribución de presiones. ....	21
Figura 9. Esfuerzos de punzonamiento. ....	24
Figura 10. Ubicación de los 3 pozos en el lugar de emplazamiento. ....	31
Figura 11. Sección de mejoramiento. ....	34
Figura 12. Ubicación de los 5 pozos en el lugar de emplazamiento. ....	35
Figura 13. Vista en perfil del tanque. ....	36
Figura 14. Mapa Probabilístico del Sismo. ....	44
Figura 15. Espectro elástico.....	47
Figura 16. Posición I y II en las vigas. ....	51
Figura 17. Cargas aplicadas en el pórtico N°3.....	52
Figura 18. Aplicación del método de distribución de momentos. ....	54
Figura 19. Fuerzas internas en el pórtico.....	55
Figura 20. Diagrama de cortantes obtenidas manualmente.....	55
Figura 21. Diagrama de momentos obtenidos manualmente. ....	55
Figura 22. Diagrama de cortantes obtenidas del Cypecad.....	56
Figura 23. Diagrama de momentos obtenidas del Cypecad. ....	56



Figura 24. Vista en planta de la disposición de las viguetas. ....	58
Figura 25. Dimensiones sacadas de CONCRETEC. ....	59
Figura 26. Espesor mínimo de la carpeta de hormigón. ....	59
Figura 27. Características geométricas de la vigueta pretensada. ....	61
Figura 28. Características geométricas de la carpeta de hormigón in situ. ....	61
Figura 29. Características geométricas de la sección compuesta de la losa. ....	62
Figura 30. Características geométricas de la sección homogeneizada. ....	64
Figura 31. Características geométricas de la sección homogeneizada. ....	64
Figura 32. Esfuerzos en vigas a flexión. ....	67
Figura 33. Punto de aplicación de la fuerza de pretensado ( $F_p$ ) con respecto al cg. ....	69
Figura 34. Conjunto solución de la fuerza de pretensado. ....	72
Figura 35. Distribución de la carga sobre la vigueta. ....	75
Figura 36. Diagrama de los momentos. ....	76
Figura 37. Vista en planta de la losa maciza. ....	77
Figura 38. Continuidad de la losa. ....	78
Figura 39. Vista en 3D del tanque (viga en estudio). ....	94
Figura 40. Disposición de la armadura en la viga. ....	104
Figura 41. Representación gráfica de los resultados obtenidos de la viga en el programa. ....	108
Figura 42. Ubicación del pilar más solicitado en la estructura. ....	108
Figura 43. Representación gráfica de todos los elementos que concurren a C 8. ....	109
Figura 44. Vista frontal de los elementos concurrentes en el pilar. ....	110
Figura 45. Nomograma para cálculo de columnas. ....	112
Figura 46. Disposición de la armadura longitudinal en la columna. ....	117
Figura 47. Disposición de la armadura transversal en 1 metro. ....	117

Figura 48. Armadura obtenida para la columna N°8 según el software de CYPECAD. ...	117
Figura 49. Representación gráfica de todos los elementos que concurren a C8. ....	118
Figura 50. Vista frontal de los elementos concurrentes en el pilar.....	119
Figura 51. Nomograma para cálculo de columnas. ....	120
Figura 52. Disposición de la armadura longitudinal en la columna. ....	124
Figura 53. Vista de la losa de fundación. ....	125
Figura 54. Ejes para hallar el centro de masa. ....	126
Figura 55. Columna más crítica.....	127
Figura 56. Ubicación de la franja. ....	128
Figura 57. División de franjas horizontales y verticales. ....	132
Figura 58. Ejes para hallar el centro de masa. ....	139
Figura 59. Ubicación de la franja. ....	140
Figura 60. División de franjas horizontales y verticales. ....	142
Figura 61. Armadura para la losa aligerada con la CBH-87. ....	154
Figura 62. Armadura para la losa aligerada con la NB 1225001. ....	155
Figura 63. Armadura longitudinal inferior para la losa con la CBH-87.....	156
Figura 64. Armadura longitudinal superior para la losa con la CBH-87.....	157
Figura 65. Armadura transversal inferior para la losa con la CBH-87.....	158
Figura 66. Armadura transversal superior para la losa con la CBH-87.....	159
Figura 67. Armadura longitudinal inf. y sup. para la losa con la NB 1225001.....	160
Figura 68. Armadura transversal inf. y sup. para la losa con la NB 1225001.....	161
Figura 69. Armadura para la viga con la CBH-87.....	162
Figura 70. Armadura para la viga con la NB 1225001.....	162
Figura 71. Armadura para la columna con la CBH-87.....	163

Figura 72. Armadura para la columna con la NB 1225001.....	163
Figura 73. Armadura longitudinal inferior para la fundación con la CBH-87. ....	164
Figura 74. Armadura longitudinal superior para la fundación con la CBH-87. ....	165
Figura 75. Armadura transversal inferior para la fundación con la CBH-87. ....	166
Figura 76. Armadura transversal superior para la fundación con la CBH-87. ....	167
Figura 77. Armadura longitudinal inf. y sup. para la fundación con la NB 1225001. ....	168
Figura 78. Armadura transversal inf. y sup. para la fundación con la NB 1225001. ....	169
Figura 79. Comparación de las cuantías totales con las dos normas. ....	185
Figura 80. Comparación del presupuesto entre las dos normas. ....	188

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de las cargas de las columnas.....	33
Tabla 2. Datos geométricos de las columnas de los pórticos. ....	38
Tabla 3. Datos geométricos de las vigas de los pórticos. ....	38
Tabla 4. Velocidades de viento de la ciudad de Yacuiba. ....	42
Tabla 5. Coeficientes de presión en paredes $C_p$ .....	43
Tabla 6. Factores de Importancia. ....	45
Tabla 7. Tipos de suelo.....	45
Tabla 8. Coeficiente de sitio de periodo corto $F_a$ . ....	46
Tabla 9. Coeficiente de sitio de periodo largo $F_v$ . ....	46
Tabla 10. Parametrización del espectro elástico.....	46
Tabla 11. Periodos límite.....	47
Tabla 12. Valores del coeficiente $m$ . ....	50
Tabla 13. Resumen de las cortantes obtenidas. ....	57
Tabla 14. Resumen de los momentos obtenidos. ....	57
Tabla 15. Valores obtenidos de la tabla de Czerny. ....	79
Tabla 16. Coeficientes para momentos negativos en losas. ....	89
Tabla 17. Coeficientes para momentos positivos debido a carga muerta en losas. ....	90
Tabla 18. Coeficientes para momentos positivos debido a carga viva en losas. ....	90
Tabla 19. Resumen de coeficientes para momentos.....	91
Tabla 20. Comparación de armadura en la losa.....	94
Tabla 21. Comparación de armadura en la viga. ....	108
Tabla 22. Características geométricas de las secciones que concurren a la columna. ....	110
Tabla 23. Características geométricas de las secciones que concurren a la columna. ....	118

Tabla 24. Comparación de armadura en la columna. ....	124
Tabla 25. Valores de las cargas mayoradas en cada columna. ....	125
Tabla 26. Valores típicos k1 del módulo de reacción.....	129
Tabla 27. Presiones en los distintos puntos de la losa. ....	131
Tabla 28. Valores de las cargas mayoradas en cada columna. ....	139
Tabla 29. Presiones en los distintos puntos de la losa. ....	141
Tabla 30. Comparación de armadura en la losa de fundación.....	149
Tabla 31. Cuantías de la estructura.....	149
Tabla 32. Ancho límite de fisura que proporciona estanquidad al agua. ....	150
Tabla 33. Separación máxima en mm, entre estribos que evita la comprobación de la abertura de fisuras de esfuerzo cortante. ....	153
Tabla 34. Tabla de resultados de las vigas. ....	169
Tabla 35. Tabla de resultados de las columnas. ....	175
Tabla 36. Tabla de resultados de las losas.....	176
Tabla 37. Tabla de resultados de los muros.....	176
Tabla 38. Tabla de resultados de las vigas. ....	177
Tabla 39. Tabla de resultados de las columnas. ....	182
Tabla 40. Tabla de resultados de las losas.....	183
Tabla 41. Tabla de resultados de los muros.....	184
Tabla 42. Cuantía general con la CBH-87.....	184
Tabla 43. Cuantía general con la NB 1225001.....	184
Tabla 44. Presupuesto total con la CBH-87. ....	186
Tabla 45. Presupuesto total con la NB 1225001. ....	187

## **ANEXOS**

- Anexo 1. Carta de solicitud de información
- Anexo 2. Carta de respuesta a la solicitud
- Anexo 3. Matriz PCES
- Anexo 4. Plano arquitectónico del tanque elevado
- Anexo 5. Estudio de SPT del suelo natural
- Anexo 6. Estudio de SPT del suelo de mejoramiento
- Anexo 7. Tablas de Czerny para losas macizas
- Anexo 8. Predimensionamiento
- Anexo 9. Especificaciones técnicas
- Anexo 10. Cómputos métricos
- Anexo 11. Precios unitarios
- Anexo 12. Presupuesto general
- Anexo 13. Planificación y cronograma