

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



**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE SECCIÓN  
VARIABLE MEDIANTE EL MÉTODO DE HARDY CROSS,  
APLICADO A UN TANQUE ELEVADO”**

**Por:**

**JORGE SIMONS GARECA**

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

**SEMESTRE-II-2020**

**TARIJA - BOLIVIA**

### **DEDICATORIA:**

Este trabajo lo dedico a mis padres, por su amor incondicional, trabajo y sacrificio en todos estos años, por inculcar en mí el ejemplo de respeto y esfuerzo, gracias a ustedes he logrado cumplir un sueño más.

A todas las personas que de una u otra forma me apoyaron y ayudaron para que cumpla esta meta.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN** ..... 1

### **1.-DISEÑO TEÓRICO.**

1.1.-Planteamiento del problema..... 2

1.2.-Formulación. .... 3

1.3.-Sistematización. .... 3

1.4.-Objetivos. .... 4

1.4.1.-Objetivo general. .... 4

1.4.2.-Objetivos específicos..... 4

1.5.-Justificación. .... 4

1.5.1.-Justificación Técnica ..... 4

1.5.2.-Justificación Académica ..... 4

1.5.3.-Justificación Social..... 5

1.6.-Alcance..... 5

1.6.1.-Alcance general. .... 5

1.6.2.-Hipótesis. .... 5

1.6.3.-Aporte académico. .... 5

1.7.-Aspectos metodológicos..... 5

1.7.1.-Tipo de estudio. .... 5

1.7.2.-Método..... 6

1.7.3.-Normas. ....	6
1.7.4.-Medios. ....	6
1.7.5.-Fuentes.....	6
1.7.6.-Técnicas para la recolección y tratamiento de información. ....	6

## **CAPÍTULO II**

### **2.-MARCO TEÓRICO.**

2.1.-Definición de tanque elevado.....	7
2.1.1.-Ventajas y desventajas de un tanque elevado.....	7
2.2.-Definición de elementos estructurales. ....	8
2.3.-Definición de análisis estructural. ....	9
2.3.1.-Objetivos del análisis estructural.....	9
2.3.2.-Equilibrio entre fuerzas internas y externas. ....	10
2.3.3.-Compatibilidad de las deformaciones. ....	11
2.3.4.-Relación fuerza-desplazamiento.....	12
2.4.-Métodos de análisis estructural. ....	13
2.4.1.-Trabajo virtual. ....	13
2.4.2.-Teorema de Castigliano.....	14
2.4.3.-Método de superposición.....	17
2.4.4.-Método de las líneas de influencia ....	17
2.4.5.-Método de la matriz de rigidez.....	18
2.4.6.-Matrices de rigidez elementales ....	19
2.4.7.-Método de distribución de momentos. ....	19
2.5.-Metodologías de análisis estructural. ....	21
2.5.1.-Determinación de esfuerzos. ....	21

2.5.2.-Determinación de resistencia y rigidez.....	21
2.6.-Definición de secciones constantes y variables. ....	22
2.6.1.-Definición de elemento estructural con sección constante.....	22
2.6.2.-Definición de elemento estructural con sección variable .....	22
2.6.3.-Cuándo se utiliza una viga de sección variable .....	24
2.6.4.-Desventaja de uso de una viga de sección variable.....	26
2.7.-Método de Hardy Cross para elementos con sección variable.....	27
2.7.1.-Análisis previo.....	27
2.7.2.-Determinación de los coeficientes de repartición.....	27
2.7.3.-Determinación de los coeficientes de distribución .....	29
2.7.4.-Determinación de los momentos de empotramiento. ....	30
2.7.5.-Repartición de los momentos en la estructura.....	30
2.7.6.-Hardy Cross con desplazamiento lateral. ....	31
2.8.-Programa estructural SAP 2000.....	33

### **CAPÍTULO III**

#### **3.-ANÁLISIS Y CÁLCULOS.**

3.1.-Geometría del tanque .....	35
3.2.-Determinación de volúmenes.....	36
3.3.-Determinación del área de la estructura .....	39
3.3.1.-Parte superior del vaso del tanque .....	39
3.3.2.-Parte inferior del vaso del tanque .....	39
3.3.3.-Área total. ....	39
3.4.-Determinación de los pesos de la estructura .....	39
3.4.1.-Peso específico del hormigón armado a utilizar.....	39

3.4.2.-Peso propio del tanque.....	39
3.5.-Determinación de la carga de viento.....	40
3.5.1.-Carga de viento.....	40
3.5.2.-Determinación de la carga de viento para las columnas.....	43
3.5.3.-Determinación de la carga de viento para el cilindro.....	44
3.6.-Determinación del volumen de agua.....	45
3.6.1.-Volumen del tanque.....	45
3.6.2.-Peso del agua.....	46
3.7.-Hipótesis de cargas de la estructura.....	46
3.8.-Determinación de las cargas en la columna.....	47
3.9.-Método de Hardy Cross con desplazamiento para secciones variables.....	48
3.9.1.-Dimensiones de la estructura.....	48
3.9.2.-Cargas consideradas del diseño.....	49
3.9.3.-Secciones en estudio e inercias.....	50
3.9.4.-Determinación de los coeficientes de distribución.....	53
3.9.5.-Determinación de los momentos de empotramiento de la estructura.....	54
3.9.6.-1° Primer Cross.....	55
3.9.7.-2° Segundo Cross tomando en cuenta el desplazamiento lateral.....	56
3.9.8.-Determinación del coeficiente de corrección de momentos.....	59
3.9.9.-Determinación de los momentos reales de la estructura en estudio.....	60
3.10.-Determinación de esfuerzos de la estructura a través del programa estructura SAP 2000.....	63
3.10.1.-Cargas consideradas en la estructura.....	64
3.10.2.-Secciones variables de las columnas.....	65

3.11.-Comparación de la estructura a través de los dos métodos realizados.....	67
3.11.1.-Esfuerzos de la estructura en estudio.....	67
3.12.-Determinación de la armadura de la estructura.....	68
3.12.1.-Inercia de la sección. ....	68
3.12.2.-Determinación del coeficiente de pandeo.....	69
3.12.3.-Determinación de la esbeltez mecánica de la estructura .....	69
3.12.4.-Determinación de los valores $\mu$ y $\nu$ para entrar a los ábacos. ....	70
3.12.5.-Determinación de la armadura mínima de construcción. ....	71
3.12.6.-Diseño a corte .....	72
3.13.-Determinación de las zapatas de la estructura.....	73
3.14.-Diseño del anillo de compresión método manual. ....	74
3.15.-Diseño del anillo de compresión (SAP2000).....	75
3.15.1.-Determinación de la armadura.....	75
3.16.-Ventajas y Desventajas de las secciones variables. ....	76
3.17.-Análisis de los resultados obtenidos .....	76

#### **4.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

4.1.-Conclusiones .....	78
4.2.-Recomendaciones.....	79

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

#### **PLANOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.-Tanque elevado con secciones variables. ....	2
Figura 2.1.-Corte de una estructura.....	9
Figura 2.2.- Equilibrio nodal.....	10
Figura 2.3.- Condiciones de deformación.....	11
Figura 2.4.- Relación entre fuerza y desplazamiento.....	12
Figura 2.5.- Deformaciones respecto a una carga aplicada.....	16
Figura 2.6.- Edificación con sección constante.....	22
Figura 2.7.- Edificación con sección variable.....	23
Figura 2.8.- Edificación con sección variable.....	24
Figura 2.9.- Diagrama de una viga con sección variable .....	24
Figura 2.10.- Puente con vigas de sección variable .....	25
Figura 2.11.- Edificación con vigas acarteladas (sección variable).....	25
Figura 2.12.- Áreas vulnerables de una viga con secciones variables.....	26
Figura 2.13.- Ejemplo de estructura con secciones variables.....	27
Figura 2.14.- Tipos de apoyos y carteleras.....	28
Figura 2.15.- Fórmula para determinación de los momentos de empotramiento.....	30
Figura 2.16.- Deformación de una estructura.....	32
Figura 3.1.- Vista lateral del tanque de almacenamiento.....	35
Figura 3.2.- Radios internos y externos.....	36
Figura 3.3.- Imagen de un tronco de cono.....	36
Figura 3.4.- Cilindros concéntrico.....	38
Figura 3.5.- Idealización de la columna de la estructura.....	47
Figura 3.6.- Descomposición de carga hacia la columna.....	47
Figura 3.7.- Vista en 3D del levantamiento topográfico.....	48
Figura 3.8.- Idealización de la columna y cargas en estudio.....	49
Figura 3.9.- Idealización de la estructura .....	50
Figura 3.10.- Momentos de empotramiento.....	54
Figura 3.11.- Demostración del teorema de rotación.....	56
Figura 3.12.- Apoyo ficticio para evitar el desplazamiento.....	58



Figura 3.13.- Apoyo ficticio en la estructura .....	59
Figura 3.14.- Reacciones de la estructura .....	61
Figura 3.15.- 3D del tanque elevado. ....	63
Figura 3.16.- Tanque elevado en SAP 2000. ....	64
Figura 3.17.- Cargas de estudio.....	64
Figura 3.18.- Secciones variables en la estructura .....	65
Figura 3.19.- Esfuerzos que actúan en la estructura.....	66
Figura 3.20.- Esfuerzos de las secciones de la estructura en estudio. ....	66
Figura 3.21.- Sección de la estructura.....	68
Figura 3.22.- Coeficiente de pandeo. ....	69
Figura 3.23.- Abaco de interacción adimensional para armadura simétrica .....	70
Figura 3.24.- Tipo de armado para las secciones en estudio.....	72
Figura 3.25.- Detalle de zapata arriostrada .....	73
Figura 3.26.- Diagrama de cargas del anillo a compresión. ....	74
Figura 3.27.- Esfuerzos del anillo de hormigón.....	75

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.- Tabla de coeficiente de exposición.....	41
Tabla 2.- Relación altura vs base mayor de la columna.....	42
Tabla 4.- Coeficiente eólico para otras superficies. ....	44
Tabla 3.- Tabla de esbeltez en el plano paralelo... ..	43
Tabla 5.- Tabla de coeficientes. ....	52
Tabla 6.- Comparación de resultados mediante los dos métodos de cálculo. ....	67