

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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



**“VARIABILIDAD DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN DEL  
HORMIGÓN CONFORMADO POR DISTINTOS BANCOS DE MATERIAL EN  
LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**EDGAR ABEL OLIVERA DÍAZ**

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

**SEMESTRE I - 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“VARIABILIDAD DEL MODULO DE ELASTICIDAD A COMPRESIÓN DEL  
HORMIGÓN CONFORMADO POR DISTINTOS BANCOS DE MATERIAL EN  
LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**EDGAR ABEL OLIVERA DÍAZ**

**SEMESTRE I – 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA.**

El presente trabajo se lo dedico todas las personas que llegaron a creer en mí en algún momento de mi vida, en mis mejores y peores momentos, ya que ellos me acompañaron mientras crecía como persona y me brindaron fuerzas para seguir hacia adelante.

## ÍNDICE

Dedicatoria.

Agradecimientos.

Pensamiento.

Resumen.

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Introducción.....	1
I.2. Antecedentes. ....	2
I.3. Objetivos. ....	2
I.3.1. Objetivo general. ....	2
I.3.2. Objetivos específicos.....	3
I.4. Justificación. ....	3
I.5. Alcance.....	3
I.6. Metodología de la investigación. ....	6
I.7. Hipótesis.....	7
I.8. Descripción de muestras a utilizar. ....	8
II. MARCO TEÓRICO. ....	9
II.1. Definición del hormigón.....	9
II.1.1. Propiedades del hormigón.....	10
II.1.2. Clasificación del hormigón. ....	13
II.1.2.1. Por su consistencia. ....	13
II.1.2.2. Por su peso unitario. ....	13
II.1.2.3. Por su uso estructural.....	13

II.2. Componentes del hormigón.....	14
II.2.1. Cemento.....	14
II.2.2. Agregados.....	15
II.2.2.1. Agregado grueso.....	16
II.2.2.2. Agregado fino.....	16
II.2.3. Agua.....	17
II.3. Resistencia a compresión en el hormigón.....	18
II.3.1. Relación agua/cemento.....	18
II.3.2. Resistencia característica especificada ( $f_{ck}$ ).....	18
II.3.3. Resistencia característica real de obra ( $f_{cr}$ ).....	19
II.3.4. Resistencia característica estimada ( $f_{ce}$ ).....	19
II.3.5. Resistencia media a compresión ( $f_{cmj}$ ).....	19
II.4. Módulo de elasticidad.....	19
II.4.1. Deformación y deformación unitaria.....	20
II.4.2. Ley de Hooke.....	20
II.4.3. Definición de módulo de elasticidad.....	21
II.4.4. Módulo de elasticidad en el hormigón.....	22
II.4.5. Importancia del módulo de elasticidad del hormigón.....	23
II.4.6. Variables que afectan al módulo de elasticidad del hormigón.....	24
II.4.7. Tipos de módulo de elasticidad.....	25
II.4.8. Módulo de elasticidad en la norma CBH-87.....	27
II.4.9. Módulo de elasticidad en la norma NB 1225001.....	28
II.4.10. Módulo de elasticidad en la norma ACI 318S.....	29
II.4.11. Módulo de elasticidad en la Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08.....	29

II.4.12. Módulo de elasticidad en norma EN 1992 Eurocódigo 2. ....	31
II.5. Distribución t de Student. ....	32
III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
III.1. Tipos de rocas de los áridos.....	36
III.2. Ensayos de laboratorio de materia prima. ....	37
III.2.1. Ensayos para el agregado fino. ....	37
III.2.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino. ....	37
III.2.1.2. Peso específico del agregado fino. ....	40
III.2.1.3. Peso unitario del agregado fino. ....	43
III.2.2. Ensayos para el agregado grueso. ....	45
III.2.2.1. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	45
III.2.2.2. Peso específico del agregado grueso.....	51
III.2.2.3. Peso unitario del agregado grueso.....	53
III.2.3. Ensayos para el cemento.....	55
III.2.3.1. Peso específico.....	55
III.2.3.2. Módulo de finura.....	56
III.3. Dosificación del hormigón. ....	57
III.3.1. Paso 1: Selección del asentamiento. ....	58
III.3.2. Paso 2: Selección del tamaño máximo de agregado.....	59
III.3.3. Paso 3: Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire.....	59
III.3.4. Paso 4: Determinación de resistencia característica. ....	60
III.3.5. Paso 5: Selección de relación agua-cemento. ....	60
III.3.6. Paso 6: Cálculo de contenido de cemento. ....	61
III.3.7. Paso 7: Estimación de la cantidad de agregado grueso. ....	61
III.3.8. Paso 8: Estimación de la cantidad de agregado fino.....	61

III.3.9. Dosificación del hormigón de cada banco.....	62
III.3.9.1. Banco de materiales del río Santa Ana. ....	62
III.3.9.2. Banco de materiales del río Bella Vista. ....	62
III.3.9.3. Banco de materiales del río Sella. ....	63
III.4. Elaboración y curado de las probetas de hormigón.....	64
III.4.1. Elaboración de probetas.....	64
III.4.1.1. Prueba del Cono de Abrams.....	65
III.4.1.2. Vaciado de probetas. ....	65
III.4.2. Curado de probetas. ....	66
III.5. Determinación de resistencia a la compresión del hormigón. ....	66
III.6. Determinación del módulo de elasticidad a compresión del hormigón. ....	67
III.7. Análisis de resultados. ....	72
III.7.1. Recopilación de datos obtenidos.....	72
III.7.2. Aplicación de la distribución t de Student. ....	77
III.7.3. Comparación entre los resultados obtenidos con normativas.....	79
III.7.3.1. Comparaciones del banco de Santa Ana. ....	80
III.7.3.2. Comparaciones del banco de Bella Vista.....	82
III.7.3.3. Comparaciones del banco de Sella.....	84
III.7.4. Contrastación de hipótesis con los resultados obtenidos. ....	87
III.7.5. Ecuación de módulo de elasticidad a compresión obtenida a partir de los datos obtenidos. ....	89
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	92
IV.1. Conclusiones. ....	92
IV.2. Recomendaciones.....	94
BIBLIOGRAFÍA .....	95

## Índice de Anexos

	Página
A.1. Análisis granulométrico del agregado fino.....	97
A.1.1. Banco Santa Ana.....	97
A.1.2. Banco Bella Vista. ....	101
A.1.3. Banco Sella. ....	105
A.2. Peso específico y absorción de humedad del agregado fino. ....	109
A.2.1. Banco Santa Ana.....	109
A.2.2. Banco Bella Vista. ....	110
A.2.3. Banco Sella. ....	111
A.3. Análisis granulométrico del agregado grueso. ....	112
A.3.1. Banco Santa Ana.....	112
A.3.2. Banco Bella Vista. ....	116
A.3.3. Banco Sella. ....	120
A.4. Peso específico y absorción de humedad del agregado grueso. ....	124
A.4.1. Banco Santa Ana.....	124
A.4.2. Banco Bella Vista. ....	125
A.4.3. Banco Sella. ....	126
A.5. Peso unitario de los agregados.....	127
A.5.1. Banco Santa Ana.....	127
A.5.2. Banco Bella Vista. ....	129
A.5.3. Banco Sella. ....	131
A.6. Finura del cemento. ....	133
A.7. Peso específico del cemento.....	134
A.8. Dosificación de probetas de hormigón. ....	135



A.8.1. Río Santa Ana. ....	135
A.8.2. Río Bella Vista. ....	138
A.8.3. Río Sella. ....	141
A.8.3.1. Corrección de dosificación. ....	144
A.9. Resistencia característica del hormigón. ....	147
A.9.1. Río Santa Ana. ....	147
A.9.2. Río Bella Vista. ....	148
A.9.3. Río Sella. ....	149
A.10. Módulo de elasticidad a compresión del hormigón. ....	150
A.10.1. Río Santa Ana. ....	150
A.10.2. Río Bella Vista. ....	165
A.10.3. Río Sella. ....	180
A.11. Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad a compresión mediante regresión potencial. ....	195
A.12. Geología de los agregados. ....	197
A.13. Respaldo fotográfico. ....	199

## Índice de figuras.

	Página
Figura I.1. – Vista satelital de banco de río Santa Ana. ....	4
Figura I.2. – Vista satelital de banco de río Bella Vista.....	5
Figura I.3. – Vista satelital de banco de río Sella.....	5
Figura I.4. – Vista satelital de ubicación de los bancos de material. ....	6
Figura II.1.- Interior de una edificación compuesta por diferentes elementos estructurales de hormigón. ....	9
Figura II.2.- Diferentes tipos de bloques de hormigón. ....	10
Figura II.3 . – Objeto sometido a una deformación axial.....	20
Figura II.4. –Diagrama esfuerzo-deformación del hormigón. ....	22
Figura II.5. – Diagrama esfuerzo-deformación con zonas que indican la relación entre el esfuerzo y la deformación. ....	23
Figura II.6. –Diferentes tipos de módulo de elasticidad en diagrama esfuerzo-deformación del hormigón. ....	26
Figura II.7. –Ejemplos de diagramas esfuerzo-deformación para diferentes tipos de hormigón de acuerdo a su resistencia a compresión. ....	27
Figura II.8. - Rango de valores del módulo de elasticidad a compresión del hormigón compuesto por diferentes materiales para diferentes resistencias. ....	31
Figura II.9.- Gráfico modelo de distribución t. ....	32
Figura II.10.- Gráficos de distribución t de Student con diferentes grados de libertad. .	33
Figura III.1.- Parte del mapa geológico de Bolivia, con delimitación de la provincia Cercado con la ubicación de los bancos de material.....	36
Figura III.2- Curva granulométrica del agregado fino de todos los bancos.....	40
Figura III.3.- Curva granulométrica del agregado grueso de todos los bancos (sin límites). ....	49

Figura III.4.- Curva granulométrica de para Santa Ana y Bella Vista con límites de granulometría. ....	50
Figura III.5.- Curva granulométrica de para Sella con límites de granulometría. ....	50
Figura III.6.- Variabilidad del módulo de elasticidad a compresión de los bancos de material.....	74
Figura III.7.- Histograma del banco Santa Ana. ....	75
Figura III.8.- Histograma del banco Bella Vista. ....	76
Figura III.9.- Histograma del banco Sella. ....	77
Figura III.10.- Comparación del módulo de elasticidad a compresión según diferentes normativas para banco Santa Ana. ....	82
Figura III.11.- Comparación del módulo de elasticidad a compresión según diferentes normativas para banco Bella Vista.....	84
Figura III.12- Comparación del módulo de elasticidad a compresión según diferentes normativas para banco Sella.....	85
Figura III.13.- Comparación de módulo de elasticidad a compresión con las líneas de tendencia de todos los bancos. ....	86
Figura III.14.- Comparación de módulo de elasticidad a compresión con la ecuación $E=k*\sqrt{f'c}$ de todos los bancos. ....	87
Figura III.15.- Gráfico de ecuaciones de módulo de elasticidad obtenidas de los datos de todos los bancos. ....	91

## Índice de tablas.

	Página
Tabla II.1. - Tipos de hormigón por su consistencia.....	13
Tabla II.2. - Tipo de hormigón por su peso unitario. ....	13
Tabla II.3. - Cantidad de componentes potenciales existentes en el hormigón. ....	15
Tabla II.4. - Cantidad máxima de sustancias disueltas que deben existir en el agua.....	18
Tabla II.5. - Coeficiente de corrección $\alpha$ de acuerdo al tipo de árido. ....	30
Tabla II.6.- Valores críticos de la distribución t (parte 1).....	34
Tabla II.7.- Valores críticos de la distribución t (parte 2).....	35
Tabla III.1.- Descripción geológica de los bancos de material. ....	37
Tabla III.2. - Granulometría del agregado fino del banco de río Santa Ana. ....	39
Tabla III.3. - Granulometría del agregado fino del banco de río Bella Vista. ....	39
Tabla III.4. - Granulometría del agregado fino del banco de río Sella. ....	39
Tabla III.5. - Peso específico y absorción de agua del agregado fino del banco de río Santa Ana. ....	42
Tabla III.6. - Peso específico y absorción de agua del agregado fino del banco de río Bella Vista. ....	42
Tabla III.7. - Peso específico y absorción de agua del agregado fino del banco de río Sella. ....	42
Tabla III.8. - Peso unitario suelto del agregado fino del banco de río Santa Ana. ....	44
Tabla III.9. - Peso unitario compactado del agregado fino del banco de río Santa Ana. ....	44
Tabla III.10. - Peso unitario suelto del agregado fino del banco de río Bella Vista. ....	44
Tabla III.11. - Peso unitario compactado del agregado fino del banco de río Bella Vista. ....	44
Tabla III.12. - Peso unitario suelto del agregado fino del banco de río Sella. ....	45
Tabla III.13. - Peso unitario compactado del agregado fino del banco de río Sella. ....	45

Tabla III.14.- Límites establecidos por la norma ASTM C 33 para la cantidad de material que pasa por diferentes tamaños de tamices para agregado grueso. ....	47
Tabla III.15. - Granulometría del agregado grueso del banco de río Santa Ana.....	48
Tabla III.16. - Granulometría del agregado grueso del banco de río Bella Vista. ....	48
Tabla III.17. - Granulometría del agregado grueso del banco de río Sella. ....	48
Tabla III.18. - Cantidad mínima de muestra de agregado grueso necesaria para realizar el ensayo de peso específico. ....	51
Tabla III.19. - Peso específico y absorción de agua del agregado grueso del banco de río Santa Ana. ....	52
Tabla III.20. - Peso específico y absorción de agua del agregado grueso del banco de río Bella Vista. ....	52
Tabla III.21. - Peso específico y absorción de agua del agregado grueso del banco de río Sella.....	53
Tabla III.22. - Peso unitario suelto del agregado grueso del banco de río Santa Ana. ...	53
Tabla III.23. - Peso unitario compactado del agregado grueso del banco de río Santa Ana. ....	54
Tabla III.24. - Peso unitario suelto del agregado grueso del banco de río Bella Vista. ...	54
Tabla III.25. - Peso unitario compactado del agregado grueso del banco de río Bella Vista. ....	54
Tabla III.26. - Peso unitario suelto del agregado grueso del banco de río Sella. ....	54
Tabla III.27. - Peso unitario compactado del agregado grueso del banco de río Sella. ...	55
Tabla III.28. - Peso específico del cemento. ....	56
Tabla III.29. - Finura del cemento. ....	57
Tabla III.30. - Revenimientos (asentamientos) recomendados para diversos tipos de construcción. ....	58
Tabla III.31. - Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaño máximos de agregado. ....	59

Tabla III.32. – Resistencia a compresión requerida inicialmente para la dosificación de hormigón. ....	60
Tabla III.33. - Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión. ....	60
Tabla III.34. - Volumen de agregado grueso (m <sup>3</sup> ) por volumen unitario del hormigón. ....	61
Tabla III.35.- Pesos y volúmenes de los ingredientes para un metro cúbico de hormigón del banco de Santa Ana. ....	62
Tabla III.36. – Proporciones de dosificación del banco de Santa Ana. ....	62
Tabla III.37.- Pesos y volúmenes de los ingredientes para un metro cúbico de hormigón del banco de Bella Vista. ....	63
Tabla III.38. – Proporciones de dosificación del banco de Bella Vista. ....	63
Tabla III.39.- Pesos y volúmenes de los ingredientes para un metro cúbico de hormigón del banco de Sella. ....	63
Tabla III.40. – Proporciones de dosificación del banco de Sella. ....	63
Tabla III.41.- Pesos y volúmenes de los ingredientes para un metro cúbico de hormigón del banco de Sella corregidos. ....	64
Tabla III.42. – Proporciones de dosificación del banco de Sella corregidas. ....	64
Tabla III.43. - Resistencia a la compresión del hormigón para todos los bancos de material. ....	67
Tabla III.44. – Valores del módulo de elasticidad a compresión obtenidos de especímenes del banco Santa Ana. ....	70
Tabla III.45. – Valores del módulo de elasticidad a compresión obtenidos de especímenes del banco Bella Vista. ....	71
Tabla III.46.- Valores del módulo de elasticidad obtenido de especímenes del banco Sella. ....	72
Tabla III.47. – Valores del módulo de elasticidad de todos los bancos de material. ....	73
Tabla III.48.- Tabla de frecuencias banco Santa Ana. ....	74

Tabla III.49.- Tabla de frecuencias del banco Bella Vista.....	75
Tabla III.50.- Tabla de frecuencias del banco Sella.....	76
Tabla III.51.- Obtención de media poblacional del módulo de elasticidad a compresión para el banco Santa Ana.....	78
Tabla III.52.- Obtención de media poblacional del módulo de elasticidad a compresión para el banco Bella Vista.....	78
Tabla III.53.- Obtención de media poblacional del módulo de elasticidad a compresión para el banco Sella. ....	78
Tabla III.54.- Módulos de elasticidad a compresión según normas para banco Santa Ana.....	81
Tabla III.55.- Módulos de elasticidad a compresión según normas para banco Bella Vista.....	83
Tabla III.56.- Módulos de elasticidad a compresión según normas para banco Sella. ...	85
Tabla III.57.- Recopilación de datos de los diferentes bancos de material.....	87
Tabla III.58.- Verificación de la variabilidad del módulo de elasticidad con datos promedio. ....	88
Tabla III.59.- Verificación de variabilidad con los datos obtenidos de todos los bancos.....	89