

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DPTO. DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



“VIDRIO MOLIDO COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO  
FINO EN EL HORMIGÓN”

Por:

NOELIA HUANCA CHOQUECHAMBI

Trabajo 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  
DPTO. DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

“VIDRIO MOLIDO COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO  
FINO EN EL HORMIGÓN”

Por:

NOELIA HUANCA CHOQUECHAMBI

Trabajo 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

## **DEDICATORIA**

A mi madre por su apoyo y contención en los momentos difíciles y en los menos complicados de mi vida. Gracias por enseñarme los valores y principios que me han formado como persona, así como por inculcarme la perseverancia y el empeño necesarios para afrontar los obstáculos.

Valoraré siempre el amor incondicional que me has brindado sin esperar nada a cambio.

También quiero agradecer a mi hermano por su paciencia y por estar a mi lado en cada paso de mi camino hacia la mejora personal. Su compañía ha sido fundamental para mí y le estaré eternamente agradecida.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	1
1    Introducción.....	1
1.1    Problema.....	1
1.1.1    Planteamiento del Problema .....	1
1.1.2    Formulación del Problema.....	3
1.1.3    Sistematización del Problema.....	3
1.2    Objetivos.....	3
1.2.1    Objetivo General.....	3
1.2.2    Objetivos Específicos .....	3
1.3    Justificación .....	4
1.3.1    Justificación Teórica.....	4
1.3.2    Justificación Metodológica.....	5
1.3.3    Justificación Practica .....	5
1.3.4    Justificación Social .....	5
1.4    Alcance del Estudio .....	6
1.4.1    Tipo de Estudio.....	6
1.4.2    Variables.....	6
1.4.3    Hipótesis .....	7
1.4.4    Restricciones.....	7
CAPÍTULO II.....	9
2    Marco Teórico .....	9
2.1    Fundamento Teórico.....	9
2.1.1    Hormigón.....	9

2.1.2	Componentes del Hormigón.....	9
2.1.3	Vidrio.....	16
2.2	Antecedentes del Vidrio como Adición en el Hormigón. ....	18
2.3	Metodología.....	27
2.3.1	Agregados.....	27
2.4	Medios y Materiales .....	52
CAPÍTULO III .....		54
3	Desarrollo de la Investigación .....	54
3.1	Recolección de Datos .....	54
3.1.1	Determinación de los materiales para 1 m <sup>3</sup> de hormigón .....	76
3.2	Análisis y Resultados.....	80
3.2.1	Datos de las rupturas de probetas de hormigón patrón y con los distintos porcentajes de vidrio (10% a 40%).....	81
CAPÍTULO IV .....		117
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	117
4.1	Conclusiones.....	117
4.2	Recomendaciones .....	135
BIBLIOGRAFÍA .....		138

## ANEXOS

ANEXO 1.	ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO 2.	MATRIZ
ANEXO 3.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.
ANEXO 4.	FOTOGRAFÍAS DE LABORATORIO.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de vidrio por mes de los barrios Molino y Carmen de la ciudad de Tarija.	2
Tabla 2. Operación de las variables.....	7
Tabla 3. Clasificación y composición de los cementos.....	12
Tabla 4. Requerimiento de tamizado en agregados finos.....	13
Tabla 5. Requerimiento de tamizado en agregados gruesos.....	15
Tabla 6. Módulos de Young para algunos tipos de vidrio comunes.....	17
Tabla 7. Resistencia a la compresión a los 28 días para las tres series de probetas (Mpa)..	19
Tabla 8. Resultados de resistencia a la compresión promedio. ....	21
Tabla 9. Resultados de resistencia a la compresión promedio. ....	22
Tabla 10. Resultados de resistencia a la compresión promedio. ....	25
Tabla 11. Masa mínima de la muestra de ensayo. ....	29
Tabla 12. Peso específico aparentes de diversos grupos de rocas.....	32
Tabla 13. Peso mínimo de la muestra de prueba.....	33
Tabla 14. Muestra representativa de agregados.....	35
Tabla 15. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.....	37
Tabla 16. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra. ....	37
Tabla 17. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	38
Tabla 18. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción. ....	40
Tabla 19. Requerimiento aproximado de agua de mezcla.....	41
Tabla 20. Relación agua/cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del hormigón.....	43
Tabla 21. Máxima Relaciones A/C Permisibles para Hormigón Expuesto a Condiciones Severas.....	44

Tabla 22. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.....	45
Tabla 23. Primera estimación del peso del hormigón fresco.....	46
Tabla 24. Estándares de control de concreto para $f_c \leq$ de 35 Mpa (5000 psi).....	51
Tabla 25. Granulometría del agregado grueso.....	56
Tabla 26. Granulometría del Agregado Fino.....	58
Tabla 27. Granulometría del vidrio. ....	60
Tabla 28. Granulometría del vidrio con 10% de vidrio como sustituto de la arena. ....	62
Tabla 29. Granulometría del vidrio con 20% de vidrio como sustituto de la arena. ....	64
Tabla 30. Granulometría del vidrio con 30% de vidrio como sustituto de la arena. ....	66
Tabla 31. Granulometría del vidrio con 40% de vidrio como sustituto de la arena. ....	68
Tabla 32. Peso unitario suelto.....	70
Tabla 33. Peso unitario compactado.....	70
Tabla 34. Peso unitario suelto.....	71
Tabla 35. Peso unitario compactado.....	71
Tabla 36. Peso unitario suelto.....	72
Tabla 37. Peso unitario compactado.....	72
Tabla 38. Peso unitario suelto.....	73
Tabla 39. Peso unitario compactado.....	73
Tabla 40. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	74
Tabla 41. Peso específico y absorción del agregado fino.....	74
Tabla 42. Peso específico del vidrio.....	75
Tabla 43. Peso específico de arena con porcentaje de vidrio. ....	75
Tabla 44. Peso específico del cemento.....	76
Tabla 45. Cantidad de material para 1 m <sup>3</sup> de hormigón patrón, para el diseño de mezcla...	80
Tabla 46. Porciones de mezcla. ....	80

Tabla 47. Resistencia de esfuerzo a compresión de hormigón patrón en 14, 21, 28 días. ...	81
Tabla 48. Resistencia de esfuerzo a compresión con 10% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días.....	84
Tabla 49. Resistencia de esfuerzo a compresión con 20% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días.....	87
Tabla 50. Resistencia de esfuerzo a compresión con 30% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días.....	90
Tabla 51. Resistencia de esfuerzo a compresión con 40% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días.....	93
Tabla 52. Distribución normal del hormigón patrón.....	103
Tabla 53. Análisis estadístico.....	104
Tabla 54. Distribución normal del hormigón con 10% de vidrio.....	105
Tabla 55. Análisis Estadístico.....	107
Tabla 56. Distribución normal del hormigón con 20% de vidrio.....	108
Tabla 57. Análisis estadístico.....	109
Tabla 58. Distribución normal del hormigón con 30% de vidrio.....	110
Tabla 59. Análisis estadístico.....	112
Tabla 60. Distribución normal del hormigón con 40% de vidrio.....	113
Tabla 61. Análisis estadístico.....	114
Tabla 62. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad.....	115
Tabla 63. Módulo de finura de la arena y los distintos porcentajes de vidrio.....	123
Tabla 64. Peso específico de la arena y arena con distintos porcentajes de vidrio .....	126
Tabla 65. Asentamiento del H° Patrón y H° con distintos porcentajes de vidrio.....	131
Tabla 66. Densidad del H° patrón y H° con distinto porcentajes de vidrio.....	133



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistencia vs % de vidrio en probetas H 15. ....	19
Figura 2. Resistencia vs % de vidrio en probetas H 20. ....	19
Figura 3. Resistencia vs % de vidrio en probetas H30. ....	20
Figura 4. Curva de resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs. porcentaje de vidrio molido. ....	21
Figura 5. Resistencia vs % de vidrio en probetas de $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ . ....	23
Figura 6. Resistencia vs % de vidrio en probetas de $f'c= 220 \text{ kg/cm}^2$ . ....	23
Figura 7. Resistencia vs % de vidrio en probetas de $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ . ....	24
Figura 8. Curvas de tendencia para la resistencia del concreto. ....	25
Figura 9. Resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días para probetas con vidrio blanco y control. ....	26
Figura 10. Resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días para probetas con vidrio ámbar y control. ....	26
Figura 11. Esquema de los modelos típicos de fracturas. ....	49
Figura 12. Planta chancadora de áridos el Temporal. ....	55
Figura 13. Curva Granulométrica del Agregado Grueso. ....	57
Figura 14. Curva granulométrica del agregado fino. ....	59
Figura 15. Curva granulométrica del vidrio. ....	61
Figura 16. Curva granulométrica de 10 % vidrio como sustituto parcial del agregado fino. ....	63
Figura 17. Curva granulométrica de 20% vidrio como sustituto parcial del agregado fino. ....	65
Figura 18. Curva granulométrica de 30 % vidrio como sustituto parcial del agregado fino. ....	67
Figura 19. Curva granulométrica de 40 % vidrio como sustituto parcial del agregado fino. ....	69

Figura 20. Resistencia de esfuerzo a compresión de hormigón patrón en 14, 21, 28 días. ..	83
Figura 21. Resistencia de Esfuerzo a Compresión con 10% de Vidrio como Sustituto Parcial del Agregado Fino en 14, 21, 28 Días. ....	86
Figura 22. Resistencia de esfuerzo a compresión con 20% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días.....	89
Figura 23. Resistencia de esfuerzo a compresión con 30% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días. ....	92
Figura 24. Resistencia de esfuerzo a compresión con 40% de vidrio como sustituto parcial del agregado fino en 14, 21, 28 días. ....	95
Figura 25. Comparación de la resistencia a compresión a los 14 días. ....	96
Figura 26. Resistencia a compresión del hormigón a los 14 días de edad vs. porcentaje de vidrio molido. ....	97
Figura 27. Comparación de la resistencia a compresión a los 21 días. ....	98
Figura 28. Resistencia a compresión del hormigón a los 21 días de edad vs. porcentaje de vidrio molido. ....	99
Figura 29. Comparación de la resistencia a compresión a los 28 días. ....	100
Figura 30. Resistencia a compresión del hormigón a los 21 días de edad vs. porcentaje de vidrio molido. ....	101
Figura 31. Comparación de las resistencias a compresión del hormigón con distintos porcentajes de vidrio.....	102
Figura 32. Campana de Gauss del hormigón patrón. ....	105
Figura 33. Campana de Gauss de hormigón con 10% de vidrio. ....	107
Figura 34. Campana de Gauss de hormigón con 20% de vidrio. ....	110
Figura 35. Campana de Gauss de hormigón con 30% de vidrio. ....	112
Figura 36. Campana de Gauss de hormigón con 40% de vidrio. ....	114
Figura 37. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad.....	115
Figura 38. Porcentaje de resistencia con 10% de vidrio molido como sustituto.....	118

Figura 39. Porcentaje de resistencia con 20% de vidrio molido como sustituto.....	119
Figura 40. Porcentaje de resistencia con 30% de vidrio molido como sustituto.....	120
Figura 41. Porcentaje de resistencia con 40% de vidrio molido como sustituto.....	121
Figura 42. Módulo de finura de la arena y los distintos porcentajes de vidrio,.....	123
Figura 43. Peso unitario del agregado fino vs vidrio molido. ....	125
Figura 44. Peso específico de la arena y arena con distintos porcentajes de vidrio. ....	127
Figura 45. Asentamiento del H° patrón y H° con distintos porcentajes de vidrio.....	131
Figura 46. Densidad del H° patrón y H° con distinto porcentajes de vidrio. ....	134