

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE OBRAS HIDRÁULICA Y SANITARIAS**



**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON ADITIVOS
IMPERMEABILIZANTES“**

Por:

MALLÓN ARIAS MARCO ANTONIO

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

Semestre II - 2022

Tarija-Bolivia

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres: Martiniano Mallón Torrejón y Norah Arias Peredo, quienes me apoyaron en mi formación, a Vilma López quien me apoyó en mis momentos de desánimo alentándome a seguir adelante.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance y limitaciones	5
1.4.1. Alcance	5
1.4.2. Limitaciones	6
1.5. Hipótesis	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. El Hormigón.....	7
2.2.1. Componentes del Hormigón	8
2.2.1.1. Cemento	8
2.2.1.2. Agregado o Árido.....	9
2.2.1.3. Agua	10
2.2.2. Propiedades de Hormigón Fresco.....	11
2.2.2.1. Consistencia	11
2.2.2.2. Trabajabilidad	12
2.2.2.3. Homogeneidad	13
2.2.3. Características Mecánicas del Hormigón.....	13
2.2.3.1. Resistencia a compresión ($f'c$).....	13
2.2.4. Resistencia Promedio Requerida ($f'cr$).....	13
2.3. Permeabilidad	14
2.4. Durabilidad.....	15
2.4.1. Agentes Agresivos al Hormigón.....	15
2.4.2. Exposición Del Hormigón a Sustancias Químicas Agresivas.....	15
2.4.2.1. Ataque Ácido	16

2.4.2.2. Ataque por Sulfatos.....	18
2.4.2.3. Ataque por Cloruros.....	18
2.4.3. Mecanismo de Ataque por Sulfatos	18
2.4.4. Mecanismo de Ataque por Ácido.....	19
2.4.5. Mecanismo del Ataque por Reacción Álcali- Árido.....	19
2.4.6. Factores que Influyen en el Comportamiento Durable y Mecánico del Hormigón..	21
2.4.6.1. Relación agua/cemento (a/c).....	21
2.4.6.2. Curado del Hormigón.....	22
2.4.6.3. Influencia de los Áridos	22
2.4.6.4. El Agua como Agente de Deterioro	22
2.5. Agua Residual Doméstica.....	23
2.5.1. Características Químicas del Agua Residual	23
2.5.1.1. Acidez	23
2.5.1.2. Ácido Sulfhídrico (H_2S)	23
2.5.1.3. Alcalinidad.....	24
2.5.1.4. Algas.....	24
2.5.1.5. Detergentes.....	24
2.5.1.6. Dióxido de Carbono (CO_2).....	25
2.5.1.7. pH	25
2.5.1.8. Sulfato	25
2.5.1.9. Cloruros.....	25
2.5.2. Características Biológicas del Agua Residual	26
2.6. Tratamiento de Aguas Residuales.....	26
2.6.1. Lagunas de Estabilización	26
2.6.1.1. Laguna de Estabilización Anaerobia	27
2.6.1.2. Laguna de Estabilización Facultativa	27
2.7. Aditivos	28
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
3.1. Introducción	31
3.2. Tipo de Investigación	31
3.3. Técnica de Recolección de Datos	31
3.3.1. Técnica.....	31

3.3.2. Instrumento.....	31
3.4. Variables Dependientes.....	31
3.4.1. Resistencia a la Compresión ($f'c$)	31
3.5. Variable Independiente	32
3.5.1. Tiempo Sumergido en Agua Residual Doméstica	32
3.6. Variables Intervinientes	32
3.6.1. Aditivos Impermeabilizantes (Sika WT-200 P, Sikaguard 63 CL, Sikatop 107 Seal, Sikaguard Antiácido).....	32
3.7. Diseño de Investigación.....	32
3.8. Población.....	32
3.9. Muestra y Muestreo.....	35
3.10. Procedimientos de Recolección de Datos.....	35
3.10.1. Ensayos de caracterización de los Agregados	35
3.10.2. Elaboración de Probetas de Concreto.....	35
3.10.3. Sumergencia de Probetas en Agua Residual Doméstica.....	37
3.10.3.1. Descripción de los Procedimientos	38
3.10.3.1.1. Granulometría de los Agregados.....	38
3.10.3.1.2. Módulo de Finura del Agregado Fino	38
3.10.3.1.3. Curva Granulométrica.....	38
3.10.3.1.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	39
3.10.3.1.5. Peso Específico Seco del Agregado Grueso	39
3.10.3.1.6. El Peso Específico Saturado Superficialmente Seco del Agregado Grueso.....	39
3.10.3.1.7. Peso Específico Aparente del Agregado Grueso	39
3.10.3.1.8. Absorción del Agregado Grueso.....	40
3.10.3.1.9. Peso Específico y Absorción del Agregado fino.	40
3.10.3.1.10. Peso Específico Saturado Superficialmente Seca del Agregad Fino ..	40
3.10.3.1.11. Peso Específico Aparente del Agregado Fino.....	41
3.10.3.1.12. Absorción de humedad	41
3.10.3.1.13. Contenido de Humedad de los Agregados	41
3.10.3.1.14. Peso Unitario Compactado y Suelto de los Agregados Fino y Grueso.....	42
3.10.3.1.15. Diseño de Mezcla	42

3.10.3.1.16. Asentamiento	43
3.10.3.1.17. Resistencia a la Compresión ($f'c$)	43
3.10.3.1.18. Ensayo De Penetración De Agua Bajo Presión	43
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
4.1. Granulometría de los Agregados Gruesos y Finos.....	44
4.1.1. Análisis Granulométrico del Agregado Fino	44
4.1.2. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	46
4.1.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	48
4.1.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	50
4.1.5. Peso Unitario del Agregado Fino	53
4.1.6. Peso Unitario del Agregado Grueso	55
4.1.7. Contenido de Humedad de los Agregados.....	57
4.2. Diseño de Mezcla (NB 1225001-1)	58
4.2.1. Selección de la Resistencia Promedio Requerida.....	58
4.2.2. Selección de Asentamiento.....	58
4.2.3. Selección del Tamaño Máximo del Agregado (TM)	58
4.2.4. Cantidad de Agua para Mezcla de Concreto (Kg/m^3)	58
4.2.5. Selección del Contenido de Aire Atrapado en Porcentaje	59
4.2.6. Selección de la Relación agua/cemento (a/c).....	59
4.2.7. Cálculo del Contenido de Cemento	60
4.2.8. Contenido de Agregado Grueso.....	60
4.2.9. Cálculo de Volumen de Agua.....	61
4.2.10. Volumen de Cemento	61
4.2.11. Volumen de Aire	61
4.2.12. Cálculo del Volumen de Agregado Fino.....	61
4.2.13. Corrección por Humedad.....	61
4.3. Asentamiento.....	64
4.4. Resistencia a la Compresión	65
4.5. Análisis De Datos.....	66
4.5.1. Análisis de Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada en el Hormigón	66
4.6. Colocado de Aditivos Impermeabilizantes.....	74
4.6.1. Aditivo Sika WT-200 P.....	74

4.6.2. Aditivo Sikaguard Antiácido.....	74
4.6.3. Aditivo Sikatop 107 Seal.....	75
4.6.4. Aditivo Sikaguard 63 CL	75
4.7. Sumersión de Probetas en Agua Residual Doméstica.....	76
4.8. Lectura y Toma de Muestras de Agua Residual Doméstica.....	77
4.9. Extracción de Probetas del Agua Residual Doméstica.....	78
4.10 Ensayo de Penetración de Agua Bajo Presión	79
 CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	 80
5.1. Resultados de Prueba de Resistencia a Compresión	80
5.2. Resultados y Análisis de Agua Residual Doméstica.....	90
5.3. Análisis del Rendimiento de los Aditivos Impermeabilizantes	92
5.4. Análisis de Imágenes Microscópicas de Probetas Sumergidos 180 Días En Agua Residual Doméstica... ..	96
5.5. Resultados de Ensayo de Penetración de Agua Bajo Presión	100
5.6. Precios Unitarios Hormigón H-35 con Aditivos Impermeabilizantes.....	101
5.6.1. Análisis de Costo de Hormigón H-35 con Aditivos Impermeabilizantes por m^3 .	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
Conclusiones	102
Recomendaciones	104
BIBLIOGRAFÍA	105
WEBGRAFÍA	108
ANEXOS.....	110

FIGURAS

Figura N°1: Componentes de Una Mezcla Común de Hormigón Sin Aire Incluido.	8
Figura N°2: Relación entre la Cantidad de Agua para el Amasado con la Resistencia a Compresión y el Asentamiento en el Ensayo del Cono de Abrams.....	10
Figura N°3: Ensayo de Cono de Abrams	12
Figura N°4: Ciclo del Azufre.....	17
Figura N°5: Proceso Químico de la Formación de Ácido Sulfhídrico.	24
Figura N°6: Proceso Químico en Lagunas Anaerobias	27
Figura N°7: Proceso Químico en Lagunas Facultativa	28
Figura N°8: Probetas de Hormigón con sus Respetivos Aditivo Impermeabilizantes.....	33
Figura N°9: Mapa Conceptual del Proceso de Obtención de Datos para la Investigación.....	37
Figura N°10: Curva Granulométrica con los Límites de Granulometría	38
Figura N°11: Ilustración de Juego de Tamices	44
Figura N°12: Granulometría de Agregado Fino.....	45
Figura N°13: Tamizado de Agregado Grueso.....	46
Figura N°14: Granulometría de Agregado Grueso.	47
Figura N°15: Ensayo de Peso Específico Superficialmente Seco del Agregado Fino	48
Figura N°16: Ensayo de Peso Específico Superficialmente Seco del Agregado Fino	48
Figura N°17: Agregado Grueso Saturado.....	51
Figura N°18: Pesado del Agregado. Saturado	51
Figura N°19: Pesado de Agregado Fino sin Compactar.....	53
Figura N°20: Realización de Ensayo de Peso Unitario del Agregado Grueso.	55
Figura N°21: Realización del Ensayo del Cono de Abrams Para Verificar Asentamiento.	65
Figura N°22: Ensayo a Compresión de Probetas de Hormigón.	66

Figura N°23: Colocado de Aditivo Impermeabilizante Sikaguard Antiácido.	74
Figura N°24: Humectado de Probetas	75
Figura N°25: Colocado de Aditivo Sikatop 107 Seal	75
Figura N°26: Impermeabilización de Probetas de Hormigón con Aditivo Sikaguard 63 CL.....	76
Figura N°27: Sumersión de Jaulas con Probetas de Hormigón en Agua Residual Doméstica	77
Figura N°28: Toma de Muestras de Agua Residual doméstica.....	78
Figura N°29: Lectura de Parámetros In Situ Con Equipo Multiparamétrico.....	78
Figura N°30: Extracción de Probetas de Hormigón.	79
Figura N°31: Ensayo de Penetración de Agua Bajo Presión.	79
Figura N°32: Profundidad de Penetración de Agua Bajo Presión.	79
Figura N°33: Gráfica de Dispersión de Muestras del Grupo 1	80
Figura N°34: Gráfica de Barras de Resistencia Media a Compresión del Grupo 1.	80
Figura N°35: Gráfica de Dispersión de las Muestras del Grupo 2.....	82
Figura N°36: Gráfica de Barras de la Resistencia Media a Compresión del Grupo 2.	82
Figura N°37: Gráfica de Dispersión de las Muestras Grupo 3.....	84
Figura N°38: Gráfica de Barras de la Resistencia Media a Compresión del Grupo 3.	84
Figura N°39: Gráfica de Dispersión de las Muestras del Grupo 4.....	86
Figura N°40: Gráfica de Barras de la Resistencia Media a Compresión del Grupo 4.	86
Figura N°41: Gráfica de Dispersión de las Muestras del Grupo 5.....	88
Figura N°42: Gráfica de Barras de la Resistencia Media a Compresión del Grupo 5.	88
Figura N°43: Laguna PTAR San Luis en por el Mes de Noviembre del 2021.	91
Figura N°44: Laguna PTAR San Luis por el Mes de Enero del 2022.	91
Figura N°45: Laguna PTAR San Luis por el Mes de Abril del 2022.....	92
Figura N°46: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikatop 107 Seal Después de 30 Días de Sumersión.	92
Figura N°47: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikatop 107 Seal Después de 60 Días de Sumersión.	92

Figura N°48: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikatop 107 Seal Después de 90 Días de Sumersión.	93
Figura N°49: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikatop 107 Seal Después de 120 Días de .Sumersión.	93
Figura N°50: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard Antiácido Después de 30 Días de Sumersión.....	93
Figura N°51: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard Antiácido Después de 60 Días de Sumersión.....	93
Figura N°52: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard Antiácido Después de 90 Días de Sumersión.....	94
Figura N°53: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard Antiácido Después de 120 Días de Sumersión.....	94
Figura N°54: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard 63 CL Después de 30 Días de .Sumersión.	94
Figura N°55: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard 63 CL Después de 60 Días de Sumersión.	94
Figura N°56: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard 63 CL Después de 90 Días de Sumersión.	95
Figura N°57: Probeta de Hormigón con Aditivo Sikaguard 63 CL Después de 120 Días de Sumersión.	95
Figura N°58: Probeta de Hormigón con Aditivo Sika WT-200P Después de 30 Días de Sumersión.....	95
Figura N°59: Probeta de Hormigón con Aditivo Sika WT-200P Después de 60 Días de Sumersión.....	95
Figura N°60: Probeta de Hormigón con Aditivo Sika WT-200P Después de 90 Días de Sumersión.....	96
Figura N°61: Probeta de Hormigón con Aditivo Sika WT-200P Después de 120 Días de Sumersión.....	96
Figura N°62: Análisis de Probetas de Hormigón en Microscopio.....	96
Figura N°63: Imagen de Superficie de Probeta Patrón sin aditivo en Microscopio	97
Figura N°64: Imagen de Superficie de Probeta Patrón sin aditivo en Microscopio	97
Figura N°65: Imagen de Superficie de Probeta Sin Aditivo en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica	97

Figura N°66: Imagen de Superficie de Probeta Sin Aditivo en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica	97
Figura N°67: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sika WT 200 P en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	98
Figura N°68: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sika WT 200 P en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	98
Figura N°69: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikatop 107 Seal en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	98
Figura N°70: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikatop 107 Seal en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	98
Figura N°71: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikaguard Antiácido en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica	99
Figura N°72: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikaguard Antiácido en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica	99
Figura N°73: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikaguard 63 cl en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	99
Figura N°74: Imagen de Superficie de Probeta Con Aditivo Sikaguard 63 cl en Microscopio Después de 180 Días de Sumersión en Agua Residual Doméstica.....	99

TABLAS

Tabla N°1: Clasificación de Consistencia.....	12
Tabla N°2: Valor Mínimo de (f_c) a Especificar en el Proyecto Estructural en Función de las Condiciones de Exposición.....	20
Tabla N°3: Requisitos para Hormigones Expuestos a Soluciones que Contienen Sulfatos	21
Tabla N°4: Población de Probetas Realizadas para la Investigación.....	34
Tabla N°5: Análisis Granulométrico de Agregado Fino.	45
Tabla N°6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	47
Tabla N°7: Prueba 1 (P1) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Fino.	49
Tabla N°8: Prueba 2 (P2) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Fino.	49
Tabla N°9: Prueba 3 (P3) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Fino.	50
Tabla N°10: Resultados Peso Específico y absorción de agua del Agregado Fino.....	50
Tabla N°11: Prueba 1 (P1) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Grueso.....	51
Tabla N°12: Prueba 2 (P2) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Grueso.	52
Tabla N°13: Prueba 3 (P3) de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Grueso.....	52
Tabla N°14: Resultados de las Pruebas de Peso Específico y Absorción de Agua del Agregado Grueso	52
Tabla N°15: Prueba 1 (P1) de Pesos Unitarios del Agregado Fino.	54
Tabla N°16: Prueba 2 (P2) de Pesos Unitarios del Agregado Fino.....	54
Tabla N°17: Prueba 3 (P3) de Pesos Unitarios del Agregado Fino.....	54
Tabla N°18: Resultado de Pesos Unitarios del Agregado Fino.	54
Tabla N°19: Peso Unitario de Prueba 1 (P1) del Agregado Grueso.....	56
Tabla N°20: Peso Unitario de Prueba 2 (P2) del Agregado Grueso.....	56
Tabla N°21: Peso Unitario de Prueba 3 (P3) del Agregado Grueso.	56
Tabla N°22: Resultados de Peso Unitario del Agregado Grueso.....	56

Tabla N°23: Resultado de Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	57
Tabla N°24: Resultado de Contenido de Humedad del Agregado Grueso	57
Tabla N°25: Resistencia Promedio Requerida a Compresión.	58
Tabla N°26: Cantidad Aproximada de Agua para Amasado.	59
Tabla N°27: Porcentaje de Aire Atrapado.	59
Tabla N°28: Volumen de Agregado Grueso Compactado.....	60
Tabla N°29: Volumen y Pesos de Materiales Para Diseño de Mezcla del Grupo 1.	62
Tabla N°30: Volumen y Pesos de Materiales Para Diseño de Mezcla del Grupo 2.	63
Tabla N°31: Volumen y Pesos de Materiales Para Diseño de Mezcla del Grupo 3.	63
Tabla N°32: Volumen y Pesos de Materiales Para Diseño de Mezcla del Grupo 4.	63
Tabla N°33: Volumen y Pesos de Materiales Para Diseño de Mezcla del Grupo 5.	64
Tabla N°34: Resultados de Ensayo a Compresión a los 7 días.....	67
Tabla N°35: Resultados de Ensayo a Compresión a los 28 días.....	67
Tabla N°36: Coeficiente de Conversión a Probeta Cilíndrica 150 mm x 300 mm.	68
Tabla N°37: Resistencia a Compresión a los 7 Días Afectadas por Coeficiente de Conversión. 68	
Tabla N°38: Resistencia a Compresión a los 28 Días Afectadas por Coeficiente de Conversión.69	
Tabla N°39: Evaluación para Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada a los 28 Días de Probetas del Grupo 1 Norma Boliviana NB 1225001-1 del Hormigón Estructural.	69
Tabla N°40: Evaluación para Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada a los 28 Días de Probetas del Grupo 2 bajo Norma Boliviana NB 1225001-1 del Hormigón Estructural	70
Tabla N°41: Evaluación para Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada a los 28 Días de Probetas del Grupo 3 bajo Norma Boliviana NB 1225001-1 del Hormigón Estructural	70

Tabla N°42: Evaluación para Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada a los 28 Días de probetas del Grupo 4 bajo Norma Boliviana NB 1225001-1 del Hormigón Estructural	71
Tabla N°43: Evaluación para Aceptación de la Resistencia a Compresión Alcanzada a los 28 Días de Probetas del Grupo 5 bajo Norma Boliviana NB 1225001-1 del Hormigón Estructural	71
Tabla N°44: Valor del coeficiente (K_n) en función del Número de Muestras y la Desviación Cuadrática.	72
Tabla N°45: Resistencias Ordenas de Menor a Mayor.....	73
Tabla N°46: Resistencia Característica Estadística para Cada Grupo.	73
Tabla N°47: Reducción de resistencia a compresión del Hormigón del Grupo 1 Sumergido en Agua Residual Doméstica.....	81
Tabla N°48: Reducción de resistencia a compresión del Hormigón del Grupo 2 Sumergido en Agua Residual Doméstica.....	83
Tabla N°49: Reducción de resistencia a compresión del Hormigón del Grupo 3 Sumergido en Agua Residual Doméstica.....	85
Tabla N°50: Reducción de resistencia a compresión del Hormigón del Grupo 4 Sumergido en Agua Residual Doméstica.....	87
Tabla N°51: Reducción de resistencia a compresión del Hormigón del Grupo 5 Sumergido en Agua Residual Doméstica.....	89
Tabla N°52: Resultados de Medición de Parámetros de Agua Residual Doméstica.	90
Tabla N°53: Resultados de Medición de Parámetros de Agua Residual Doméstica.	90
Tabla N°54: Resultados de Medición de Parámetros de Agua Residual Doméstica.	91
Tabla N°55: Resultados de Ensayo de Penetración de Agua Bajo Presión.	100
Tabla N °56: Costos de Hormigón H-35 con Aditivos Impermeabilizantes por m^3	101