

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN
ELABORADO CON UN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE**

Por:

ISMAEL FERNANDEZ ZARATE

Modalidad de graduación Proyecto de grado presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I-2025

TARIJA -BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN
ELABORADO CON UN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE**

Por:

ISMAEL FERNANDEZ ZARATE

Modalidad de graduación Proyecto de grado presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I-2025

TARIJA -BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a mi padre Elmer, quien me acompaña desde el cielo, a mi madre Lucia y mis hermanos Karina, Jorge y Héctor, que me apoyaron en esta etapa de mi vida y a mis amigos que conocí de la etapa universitaria.

ÍNDICE

ADVERTENCIA

DEDICATORIO

AGRADECIMIENTOS

PENSAMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción.....	1
1.2. El Problema.	1
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. Académica.	3
1.3.2. Técnica.	3
1.3.3. Social.	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. General	3
1.4.2. Específicos.....	3
1.5. Alcance de la Propuesta.	4
1.5.1. General.	4
1.5.2. Hipótesis.....	6
1.5.3. Resultados a Lograr.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción.....	8
2.2. Generalidades del Hormigón.....	8
2.2.1. Definición.....	8

2.2.2. Propiedades Generales.	8
2.2.2.1. Propiedades del Hormigón Fresco.	8
2.2.2.1.1. Consistencia.....	8
2.2.2.1.2. Trabajabilidad.....	10
2.2.2.1.3. Homogeneidad.....	10
2.2.2.2. Propiedades del Hormigón Endurecido.....	10
2.2.2.2.1. Resistencia Mecánica.	10
2.2.2.2.2. Permeabilidad.....	11
2.2.3. Materiales Componentes del Hormigón.....	12
2.2.3.1. Materiales Cementantes.	12
2.2.3.2. Tipos del Material o Clasificación de los Agregados.....	12
2.2.4. Aditivo Impermeabilizante SIKA-CEM Impermeable.	13
2.2.5. Patologías Estructurales por Filtración.....	14
2.2.6. Clase de Exposición en el Hormigón.	15
2.3. Normativas a Utilizar en el Procedimiento Experimental.....	17
2.3.1. Normas Utilizadas en la Investigación.	17
2.3.2. Normativas de la Caracterización de Materiales.....	18
2.3.2.1. Granulometría (ASTM C136).	18
2.3.2.2. Peso Unitario (ASTM C29).....	19
2.3.2.3. Peso Específico y Absorción de Agua del Árido Grueso (ASTM C127). ..	20
2.3.2.4. Peso Específico y Absorción de Agua del Árido Fino (ASTM C128).	20
2.3.2.5. Dosificación del Hormigón.	20
2.3.2.6. Ensayo de Absorción del Hormigón ASTM C1585.....	21
2.3.3. Permeabilidad del Hormigón.....	23
2.3.3.1. Manual del Equipo de Permeabilidad del Hormigón.	23
2.4. Análisis Estadístico.	25
2.4.1. Proceso Estocástico.	25
2.4.2.1. Procesos Estocásticos no Estacionarios.	26
2.4.3. Método por Distribución T DE STUDENT.	26

2.4.3.1. Intervalos de Confianza para la Diferencia entre dos Medias con Pequeñas Muestras.	27
--	----

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Características de los Materiales Componentes.	31
3.1.1. Criterios de Selección de Banco de Materiales.	31
3.1.2. Criterios de Selección del Cemento Hidráulico.	32
3.1.3. Criterios de Selección del Aditivo Impermeabilizante.....	33
3.2. Metodología de Investigación para la Realización de la Mezcla.	38
3.2.1. Forma y Dimensiones de las Muestras.....	38
3.2.2. Numero de Especímenes y Pruebas.....	38
3.2.3. Análisis de Porcentajes de Aplicación del Aditivo Impermeabilizante.	38
3.2.4. Caracterización de Materiales.	39
3.2.4.1. Granulometría de Agregados (ASTM C136).	39
3.2.4.2. Peso Unitario de Agregados (ASTM C29).....	41
3.2.4.3. Peso Específico y Absorción del Árido Grueso (ASTM C 127).....	42
3.2.4.4. Peso Específico y Absorción Árido Fino (ASTM C 128).....	44
3.2.5. Dosificación del Hormigón.	46
3.2.6. Procedimiento de Vaciado de Especímenes.....	47
3.2.7. Medición del Asentamiento en las Mezclas.....	48
3.2.8. Contenido de Aire Ocluido (ASTM C 231).	49
3.2.9. Curado de las Muestras.	51
3.3. Metodología de Pruebas al Hormigón.....	51
3.3.1. Pruebas Mecánicas.	51
3.3.1.1. Características Físicas y Mecánicas de los Materiales.....	52
3.3.2. Prueba de Permeabilidad en el Hormigón.....	53
3.3.3. Prueba de Filtración en el Hormigón.	55

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados de Ensayo al Hormigón.....	58
4.1.1. Permeabilidad del Hormigón; H-30 r a/c=0.50.	58
4.1.2. Permeabilidad del Hormigón; H-35 r a/c=0.45.	64
4.1.3. Filtración de Agua en el Hormigón.	69
4.1.4. Resistencia Mecánica del Hormigón.	72
4.1.5. Aire Ocluido en el Hormigón.	75
4.1.6. Asentamiento de las Mezclas de Hormigón.	76
4.2. Análisis de Costos.	77
4.3. Análisis de Comparativo de Resultados.	80
4.3.1. Relación entre Permeabilidad y Filtración.	80
4.3.2. Relación entre Permeabilidad y Resistencia a Compresión del Hormigón... 82	
4.3.3. Relación entre Permeabilidad y Aire Ocluido en el Hormigón.....	84
4.3.4. Relación entre Permeabilidad y Asentamiento de la Mezcla.	85
4.3.5. Relación entre Permeabilidad y el Costo del Hormigón.	87
4.3.6. Análisis Costo – Beneficio de la Propuesta.....	89
4.4. Análisis de Aplicación de Resultados.	90
4.5. Contrastación de Hipótesis.	91

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones.....	94

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz P.C.E.S.	2
Tabla 2.1 Consistencia de hormigones.....	9
Tabla 2.2 Profundidad de penetración.	11
Tabla 2.3 Clases de exposición relativas a la corrosión.....	15
Tabla 2.4 Clases de exposición relativas a otros procesos distintos a la corrosión. ...	16
Tabla 2.5 Normas en ensayos realizados.	17
Tabla 2.6 Tamaño de la muestra de ensaye de árido grueso.....	18
Tabla 2.7 Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino.....	18
Tabla 2.8 Rango de aberturas usados en la granulometría del agregado grueso.....	19
Tabla 2.9 Rango de aberturas usadas para la granulometría del agregado fino.....	19
Tabla 2.10 Valores orientativos máximos de la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días.	20
Tabla 2.11 Tiempos establecidos para el ensayo de absorción hormigón.	23
Tabla 2.12 Puntos porcentuales superiores para la distribución T DE STUDENT.	29
Tabla 3.1 Resultados del peso unitario agregados.	41
Tabla 3.2 Resultados de la dosificación de H-30 r a/c =0.50.....	46
Tabla 3.3 Resultados de la dosificación de H-35 r a/c =0.45.....	46
Tabla 4.1 Ensayo de permeabilidad de probetas H-30 r a/c=0.50 mayores de 28 días profundidad máxima de penetración.....	58
Tabla 4.2 Análisis estadístico del ensayo de permeabilidad de probetas H-30 r a/c=0.50 mayores de 28 días profundidad máxima de penetración.	59
Tabla 4.3 Ensayo de permeabilidad de probetas H-30 r a/c=0.50 mayores de 28 días profundidad media de penetración.....	61

Tabla 4.4 Análisis estadístico del ensayo de permeabilidad de probetas H-30 r a/c=0.50 mayores de 28 días profundidad media de penetración.	62
Tabla 4.5 Ensayo de permeabilidad de probetas H-35 r a/c = 0.45 mayores de 28 días profundidad máxima de penetración.	64
Tabla 4.6 Análisis estadístico del ensayo de permeabilidad de probetas H-35 r a/c = 0.45 mayores de 28 días profundidad máxima de penetración.	65
Tabla 4.7 Ensayo de permeabilidad de probetas H-35 r a/c = 0.45 mayores de 28 días profundidad media de penetración.	66
Tabla 4.8 Análisis estadístico del ensayo de permeabilidad de probetas H-35 r a/c = 0.45 mayores de 28 días profundidad media de penetración.	67
Tabla 4.9 Ensayo de filtración de agua en probetas H-30 r a/c=0.50.	70
Tabla 4.10 Ensayo de filtración de agua en probetas H-35 r a/c=0.45.	71
Tabla 4.11 Resumen de rotura de probetas H-30 r a/c=0.50 a los 28 días.....	72
Tabla 4.12 Análisis estadístico de rotura de probetas H-30 r a/c=0.50 a los 28 días..	73
Tabla 4.13 Resumen de rotura de probetas H-35 r a/c=0.45 a los 28 días.....	74
Tabla 4.14 Análisis estadístico de rotura de probetas H-35 r a/c=0.45 a los 28 días..	74
Tabla 4.15 Análisis del aire ocluido en el hormigón.	75
Tabla 4.16 Análisis del asentamiento hormigón H-30 r a/c=0.50.....	76
Tabla 4.17 Beneficio -costo del uso de hormigones H-30 r a/c=0.50 impermeabilizantes.	78
Tabla 4.18 Beneficio -costo del uso de hormigones H-35 r a/c=0.45 impermeabilizantes.	79
Tabla 4.19 Comparación de la permeabilidad vs filtración H-30 r a/c = 0.50.....	80
Tabla 4.20 Comparación de la permeabilidad vs filtración H-35 r a/c = 0.45.....	81

Tabla 4.21 Comparación de la Permeabilidad vs Resistencia a Compresión H-30 r a/c = 0.50.	82
Tabla 4.22 Comparación de la Permeabilidad vs Resistencia a Compresión H-35 r a/c = 0.45.	82
Tabla 4.23 Comparación de la Permeabilidad vs Aire Ocluido H-30 r a/c = 0.50.	84
Tabla 4.24 Comparación de la Permeabilidad vs Asentamiento H-30 r a/c = 0.50....	85
Tabla 4.25 Comparación de la Permeabilidad vs Asentamiento H-35 r a/c = 0.45....	85
Tabla 4.26 Comparación de la Permeabilidad vs Costo H-30 r a/c = 0.50.....	87
Tabla 4.27 Comparación de la Permeabilidad vs Costo H-35 r a/c = 0.45.....	87
Tabla 4.28 Comparación del Costo vs Beneficio H-30 r a/c = 0.50.	89
Tabla 4.29 Comparación del Costo vs Beneficio H-35 r a/c = 0.45.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Método del cono de abrams.....	9
Figura 2.2 Profundidad de penetración vs relación A/C.....	12
Figura 2.3 Preparación de los discos de hormigón.	21
Figura 2.4 Discos de hormigón dentro de un desecador.	22
Figura 2.5 Discos de hormigón sometidos al ensayo de absorción.....	22
Figura 2.6 Equipo de permeabilidad del hormigón.....	25
Figura 3.1 Zona de muestreo chancadora.	31
Figura 3.2 Obtención de la muestra del Agregados.	32
Figura 3.3 Fábrica de cemento el puente.	32
Figura 3.4 Ensayos de granulometría de los agregados.	39
Figura 3.5 Pesaje del peso sumergido.	43
Figura 3.6 Procedimiento de la determinación peso específico de la arena.....	45
Figura 3.7 Dosificación de mezclas.	47
Figura 3.8 Asentamiento de mezcla.	47
Figura 3.9 Preparación para el uso del equipo de aire ocluido.	49
Figura 3.10 Preparación del molde de aire ocluido.....	49
Figura 3.11 Uso del equipo de aire ocluido.	50
Figura 3.12 Curado de probetas de hormigón.	51
Figura 3.13 Equipo necesario para la rotura de probetas compresión.	52
Figura 3.14 Rotura de probeta a compresión por cortante.	52
Figura 3.15 Preparación de las probetas para el ensayo de permeabilidad.....	53
Figura 3.16 Ensayo de probetas en el equipo de permeabilidad del hormigón.....	54

Figura 3.17 Ensayo de tracción indirecta.....	54
Figura 3.18 Medición de la profundidad máxima de penetración del agua	55
Figura 3.19 Medición de la profundidad media de penetración del agua.	55
Figura 3.20 Ensayo de probetas en el equipo de permeabilidad del hormigón.....	56
Figura 4.1. Resultados de la profundidad máxima de penetración del H-30 r a/c=0.50.	60
Figura 4.2 Resultados de la profundidad media de penetración del hormigón H-30 r a/c=0.50.....	63
Figura 4.3 Resultados de la profundidad máxima de penetración del hormigón H-35 r a/c = 0.45.....	66
Figura 4.4	69
Resultados de la profundidad media de penetración del hormigón H-35 r a/c = 0.45.	69
Figura 4.5 Resultados de la filtración del agua en el tiempo probetas H-30 r a/c = 0.50.....	70
Figura 4.6 Resultados de la filtración del agua en el tiempo probetas H-35 r a/c 0.45.	71
Figura 4.7 Resumen de resistencia promedio de probetas H-30 a los 28 días.....	73
Figura 4.8 Resumen de resistencia promedio de probetas H-35 a los 28 días.....	75
Figura 4.9 Aire ocluido en el hormigón.....	76
Figura 4.10 Asentamiento hormigón H-30 r a/c =0.50.....	77
Figura 4.11 Comparación del precio de 1m ³ de hormigón H-30 r a/c=0.50 con adición de aditivo impermeabilizante.	78
Figura 4.12 Comparación del precio de 1m ³ de H-35 r a/c=0.45 con aditivo impermeabilizante.....	79

Figura 4.13 Comparación de la permeabilidad vs filtración H-30 r a/c = 0.50.....	80
Figura 4.14 Comparación de la permeabilidad vs filtración H-35 r a/c = 0.45.....	81
Figura 4.15 Comparación de la Permeabilidad vs Resistencia a Compresión H-30 r a/c = 0.50.	82
Figura 4.16 Comparación de la Permeabilidad vs Resistencia a Compresión H-35 r a/c = 0.45.	83
Figura 4.17 Comparación de la Permeabilidad vs Aire Ocluido H-30 r a/c = 0.50....	84
Figura 4.18 Comparación de la Permeabilidad vs Asentamiento H-30 r a/c = 0.50...	85
Figura 4.19 Comparación de la Permeabilidad vs Asentamiento H-35 r a/c = 0.45...	86
Figura 4.20 Comparación de la Permeabilidad vs Costo H-30 r a/c = 0.50.....	87
Figura 4.21 Comparación de la Permeabilidad vs Costo H-35 r a/c = 0.45.....	88
Figura 4.22 Comparación del Costo vs Beneficio H-30 r a/c = 0.50.....	89
Figura 4.23 Comparación del Costo vs Beneficio H-35 r a/c = 0.45.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 TABLAS DE DOSIFICACIÓN ACI.

ANEXO 2 CÁLCULOS DE PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

ANEXO 3 CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN.

ANEXO 4 PRUEBAS DE ROTURA DE PROBETAS.

ANEXO 5 PRUEBA DE IMPERMEABILIDAD Y FILTRACION DEL HORMIGÓN.

ANEXO 6 PRUEBA DE AIRE OCLUIDO.

ANEXO 7 PRUEBA DE ASENTAMIENTO.

ANEXO 8 COSTO DEL USO DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE POR 1M³ H°.

ANEXO 9 MANUAL DE EQUIPO DE PERMEABILIDAD.

ANEXO 10 IMÁGENES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.