

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“CORRELACIÓN ENTRE LA PERMEABILIDAD Y LA RESISTENCIA DE LOS
PAVIMENTOS DE CONCRETOS POROSOS”**

Por:

JORGE LUIS CHOQUE ALVARADO

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 2024

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“CORRELACIÓN ENTRE LA PERMEABILIDAD Y LA RESISTENCIA DE LOS
PAVIMENTOS DE CONCRETOS POROSOS”**

Por:

JORGE LUIS CHOQUE ALVARADO

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 2024

Tarija - Bolivia

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida y cuidarme siempre, y por el camino recorrido a largo de mi carrea profesional y permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida. Para mis queridos padres: Ricardo Choque y Rosa Alvarado, quienes con su apoyo y paciencia han sido el pilar fundamental sobre el cual pude apoyarme en todo momento durante estos años para que pudiese llevar a cabo mi carrera universitaria y encontrarme ahora presentando mi tesis de grado.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

| | Página. |
|---|----------------|
| 1.1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 1 |
| 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.3.1. Situación problemática..... | 2 |
| 1.3.2. Delimitación del tiempo..... | 3 |
| 1.3.3. Delimitación del espacio..... | 3 |
| 1.3.4. Problema..... | 3 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5. ALCANCE..... | 4 |
| 1.6. HIPÓTESIS..... | 5 |
| 1.6.1 Variable independiente..... | 5 |
| 1.6.2 Variable dependiente..... | 5 |
| 1.7. CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES..... | 5 |
| 1.7.1. Conceptualización de las variables..... | 5 |
| 1.7.2. Operacionalización de las variables..... | 5 |

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

| | Página. |
|--|----------------|
| 2.1. MARCO CONCEPTUAL | 7 |
| 2.1.1. Concreto permeable | 7 |
| 2.1.2. Permeabilidad | 7 |
| 2.1.3. Asentamiento | 7 |
| 2.1.4. Resistencia a la compresión | 7 |
| 2.1.5. Resistencia a la flexión o módulo de rotura | 8 |
| 2.1.6. Cemento | 8 |
| 2.1.7. Dosis de cemento | 8 |
| 2.1.8. Agua | 9 |
| 2.1.9. Agregados | 9 |
| 2.1.10. Aditivos | 9 |
| 2.1.11. Tamaño máximo de la partícula | 9 |
| 2.2. PARÁMETROS DE RESISTENCIAS | 10 |
| 2.3. APLICACIÓN DEL CONCRETO POROSO | 11 |
| 2.3.1. Ventajas y desventajas del concreto poroso | 13 |
| 2.3.2. Instalación del concreto permeable | 14 |
| 2.3.3. Curado | 15 |
| 2.3.4. Mantenimiento del concreto permeable | 15 |
| 2.3.5. Propiedades mecánicas | 16 |
| 2.3.6. Propiedades superficiales | 16 |
| 2.3.7. Propiedades del concreto permeable | 17 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.3.7.1. | Propiedades del concreto permeable en estado fresco | 17 |
| 2.3.7.2. | Propiedades del concreto permeable en estado endurecido | 19 |
| 2.4. | MÉTODO DE DISEÑO DE LA MEZCLA POROSA | 28 |
| 2.4.1. | Según ACI 522-10 – reporte sobre concreto permeable..... | 28 |
| 2.4.2. | Granulometría del concreto permeable | 28 |
| 2.4.3. | Criterios de diseño de mezclas..... | 29 |
| 2.4.3.1. | Relación agua-cemento (A/C)..... | 30 |
| 2.4.3.2. | Relación agregado-cemento..... | 31 |
| 2.4.3.3. | Contenido de agregado grueso..... | 31 |
| 2.4.3.4. | Elección del porcentaje de vacíos | 32 |
| 2.4.3.5. | Elección de la resistencia a compresión de diseño | 33 |
| 2.4.3.6. | Determinación del volumen de pasta..... | 34 |
| 2.4.3.7. | Elección de la relación agua-cemento..... | 35 |
| 2.4.3.8. | Método de volúmenes absolutos y corrección | 36 |
| 2.4.3.9. | Corrección por humedad y absorción | 36 |
| 2.5. | PERMEABILIDAD EN CONCRETOS POROSOS..... | 36 |
| 2.5.1. | Modelo para medir la permeabilidad | 36 |
| 2.5.2. | Análisis hidrológico-hidráulico en pavimentos permeables | 37 |
| 2.5.3. | Estudios hidrológicos..... | 38 |
| 2.5.4. | Precipitación | 39 |
| 2.5.5. | Infiltración..... | 39 |
| 2.5.6. | Periodo de retorno..... | 39 |
| 2.5.7. | Análisis de la precipitación máxima en 24 horas..... | 40 |
| 2.5.8. | Intensidad, duración y frecuencia | 40 |

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 2.6. | MARCO NORMATIVO | 42 |
| 2.7. | MARCO REFERENCIAL..... | 44 |
| 2.8. | ANÁLISIS DEL APORTE TEÓRICO..... | 47 |

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

| | | Página. |
|----------|--|----------------|
| 3.1. | CRITERIOS DEL DISEÑO METODOLÓGICO | 47 |
| 3.1.1. | Unidad de estudio o muestra..... | 47 |
| 3.1.2. | Población..... | 48 |
| 3.1.3. | Muestra | 48 |
| 3.1.4. | Tamaño de muestra | 49 |
| 3.2. | UBICACIÓN DE LA ZONA DE LOS MATERIALES PÉTREOS | 47 |
| 3.2.1. | Ubicación y coordenadas del agregado pétreo..... | 47 |
| 3.2.2. | Coordenadas geográficas y UTM | 47 |
| 3.3. | CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS | 50 |
| 3.3.1. | Resumen de las características de los agregados a utilizar | 50 |
| 3.3.2. | Análisis de resultados de la caracterización..... | 51 |
| 3.4. | DISEÑO DEL CONCRETO POROSO | 51 |
| 3.4.1. | Combinación de agregados pétreos para la mezcla de concreto poroso | 51 |
| 3.4.2. | Dosificación de la mezcla de concreto poroso..... | 52 |
| 3.4.3. | Procesos de elaboración de las probetas cilíndricas y vigas..... | 57 |
| 3.4.3.1. | Pesaje de materiales de la dosificación..... | 57 |
| 3.4.3.2. | Mezclado de los materiales para la mezcla..... | 57 |
| 3.4.3.3. | Desencofrado de probetas cilíndricas y las vigas | 59 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.4.3.4. | Pesos de las vigas y las probetas cilíndricas | 59 |
| 3.4.3.5. | Rotura de las probetas cilíndricas y las vigas | 60 |
| 3.4.3.6. | Medición de la permeabilidad..... | 61 |
| 3.4.4. | Relevamiento de información de las probetas cilíndricas y las vigas..... | 61 |
| 3.4.4.1. | Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas | 61 |
| 3.4.4.2. | Resultados de rotura de las vigas a flexión..... | 62 |
| 3.4.4.3. | Resultados de medición de la permeabilidad..... | 64 |
| 3.5. | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 65 |
| 3.5.1. | Análisis de resultados a los 7 días..... | 65 |
| 3.5.2. | Análisis de resultados a los 14 días..... | 69 |
| 3.5.3. | Análisis de resultados a los 28 días..... | 71 |
| 3.6. | PRUEBA DE INFILTRACIÓN | 75 |
| 3.5.1. | Infiltración..... | 91 |
| 4. | PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS | 96 |
| 4.1. | RESULTADOS PARA EL INICIO DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO CORRESPONDIENTE..... | 96 |
| 4.2. | ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA | 97 |
| 4.2.1. | Cálculo de curva de frecuencia relativa y acumulada..... | 97 |
| 4.2.2. | Determinación del histograma 7 días..... | 97 |
| 4.2.3. | Determinación del histograma 14 días..... | 99 |
| 4.2.4. | Determinación del histograma 28 días..... | 100 |
| 4.3. | ESTADÍSTICA INFERENCIAL | 101 |
| 4.4. | COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 102 |
| 4.5. | PRECIOS UNITARIOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO POROSO..... | 106 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.6. | ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES | 113 |
| 4.6.1. | Análisis de resultados de las correlaciones a los 7 días | 113 |
| 4.6.2. | Análisis de resultados de las correlaciones a los 14 días | 116 |
| 4.6.3. | Análisis de resultados de las correlaciones a los 28 días | 119 |

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Página. | |
|------|----------------------|-----|
| 5.1. | CONCLUSIONES | 124 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES..... | 125 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexos 1 Caracterización de los agregados pétreos

Anexos 2 Caracterización del cemento hidráulico

Anexos 3 Precios unitarios

Anexos 4 Fotografías

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página. |
|--|----------------|
| Tabla 1.1. Operacionalización de las variables | 6 |
| Tabla 1.2. Conceptualización de las variables | 6 |
| Tabla 2.1. Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico | 11 |
| Tabla 2.2. Rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable | 30 |
| Tabla 2.3. Valores efectivos de b/bo | 32 |
| Tabla 2.4. Caracterización de los agregados pétreos..... | 42 |
| Tabla 3.1. Población..... | 48 |
| Tabla 3.2. Muestra..... | 49 |
| Tabla 3.3. Tamaño de muestra | 50 |
| Tabla 3.4. Resumen de resultados de las características de los agregados..... | 50 |
| Tabla 3.5. Análisis de resultados de agregados pétreos | 51 |
| Tabla 3.6. Granulometría huso N° 8..... | 52 |
| Tabla 3.7. Dosificación de mezcla porosa con cemento IP-30..... | 56 |
| Tabla 3.8. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días | 61 |
| Tabla 3.9. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días | 62 |
| Tabla 3.10. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días | 62 |
| Tabla 3.11. Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 7 días | 62 |
| Tabla 3.12. Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 14 días | 63 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3.13. Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 28 días | 63 |
| Tabla 3.14. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días | 64 |
| Tabla 3.15. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días | 64 |
| Tabla 3.16. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días | 65 |
| Tabla 3.17. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días | 65 |
| Tabla 3.18. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 7 días..... | 66 |
| Tabla 3.19. Análisis de resultados de vigas IP-30 a los 7 días..... | 66 |
| Tabla 3.20. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días | 69 |
| Tabla 3.21. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 14 días..... | 69 |
| Tabla 3.22. Análisis de resultados de vigas IP-30 a los 14 días..... | 69 |
| Tabla 3.23. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días | 71 |
| Tabla 3.24. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 28 días..... | 72 |
| Tabla 3.25. Análisis de resultado de vigas IP-30 a los 28 días | 72 |
| Tabla 3.26. Dosificación mezcla porosa con cemento IP-40 | 78 |
| Tabla 3.27. Resultados de rotura de probetas cilíndricas IP-40 | 79 |
| Tabla 3.28. Resultados de rotura de vigas IP-40 | 80 |
| Tabla 3.29. Resultados de permeabilidades IP-40 | 81 |
| Tabla 3.30. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 7 días | 82 |
| Tabla 3.31. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 7 días..... | 82 |
| Tabla 3.32. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 7 días | 83 |
| Tabla 3.33. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 14 días | 85 |
| Tabla 3.34. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 14 días..... | 85 |
| Tabla 3.35. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 14 días | 86 |
| Tabla 3.36. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 28 días | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3.37. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 28 días..... | 88 |
| Tabla 3.38. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 28 días | 89 |
| Tabla 3.39. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel | 91 |
| Tabla 3.40. Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias ... | 93 |
| Tabla 3.41. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas. | 93 |
| Tabla 3.42. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias..... | 93 |
| Tabla 3.43. Intensidades de lluvia a partir de Pd..... | 94 |
| Tabla 3.44. Resumen de aplicación de regresión potencial | 94 |
| Tabla 3.45. Regresión lineal..... | 95 |
| Tabla 3.46. Intensidades..... | 95 |
| Tabla 4.1. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 7 días, con cemento IP-40..... | 96 |
| Tabla 4.2. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 14 días, con cemento IP-40.... | 96 |
| Tabla 4.3. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 28 días, con cemento IP-40.... | 96 |
| Tabla 4.4. Cálculo de histograma 7 días | 97 |
| Tabla 4.5. Medidas de tendencia central 7 días..... | 98 |
| Tabla 4.6. Cálculo de histograma 14 días | 99 |
| Tabla 4.7. Medidas de tendencia central 14 días..... | 100 |
| Tabla 4.8. Medidas de dispersión 14 días | 100 |
| Tabla 4.9. Cálculo de histograma 28 días | 100 |
| Tabla 4.10. Medidas de tendencia central 28 días..... | 101 |
| Tabla 4.11. Medidas de dispersión 28 días..... | 101 |
| Tabla 4.12. Estadística inferencial 28 días | 102 |
| Tabla 4.13. Tipos de relación en función a la hipótesis | 103 |
| Tabla 4.14. Dosificación para 1 m ³ de mezcla porosa 15.00 % de vacíos | 106 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.15. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 15 % de vacíos | 107 |
| Tabla 4.16. Dosificación para 1 m ³ de mezcla porosa 17.50 % de vacíos | 107 |
| Tabla 4.17. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 17.50 % de vacíos | 108 |
| Tabla 4.18. Dosificación para 1 m ³ de mezcla porosa 20.00 % de vacíos | 108 |
| Tabla 4.19. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 20.00 % de vacíos | 109 |
| Tabla 4.20. Dosificación para 1 m ³ de mezcla porosa 22.50 % de vacíos | 109 |
| Tabla 4.21. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 22.50 % de vacíos | 110 |
| Tabla 4.22. Dosificación para 1 m ³ de mezcla porosa 25.00 % de vacíos | 110 |
| Tabla 4.23. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 25.00 % de vacíos | 111 |
| Tabla 4.24. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-30..... | 113 |
| Tabla 4.25. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-30..... | 114 |
| Tabla 4.26. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-40 | 115 |
| Tabla 4.27. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-40 | 115 |
| Tabla 4.28. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-30..... | 116 |
| Tabla 4.29. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-30..... | 117 |
| Tabla 4.30. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-40..... | 118 |
| Tabla 4.31. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-40..... | 118 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.32. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-30..... | 119 |
| Tabla 4.33. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-30 | 120 |
| Tabla 4.34. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-40 | 121 |
| Tabla 4.35. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-40..... | 121 |
| Tabla 4.36. Comparación coeficiente de permeabilidad de campo y laboratorio | 122 |
| Tabla 4.37. Comparación de resistencias a flexión | 123 |
| Tabla 4.38. Comparación de resistencias a compresión..... | 123 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página. |
|--|----------------|
| Figura 2.1. Resistencia a la compresión y relación a/c | 11 |
| Figura 2.3. Funcionamiento del concreto poroso | 14 |
| Figura 2.4. Esquema de distribución de cargas de un pavimento de hormigón poroso..... | 16 |
| Figura 2.5. Esquema de la capacidad de resistir el deslizamiento de un pavimento de hormigón poroso..... | 17 |
| Figura 2.6. Estructura interna del concreto permeable | 19 |
| Figura 2.7. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión | 20 |
| Figura 2.8. Resistencia a la compresión a los 28 días vs Peso Unitario | 20 |
| Figura 2.9. Relación entre resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua y cemento..... | 21 |
| Figura 2.10. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la flexión para el concreto permeable..... | 22 |
| Figura 2.11. Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable | 23 |
| Figura 2.12. Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación..... | 24 |
| Figura 2.13. Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas (ASTM C 133, 1999)..... | 29 |
| Figura 2.14. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua | 31 |
| Figura 2.15. Relación entre el contenido de aire y la tasa de filtración..... | 33 |
| Figura 2.16. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados No. 67 y No. 8..... | 33 |
| Figura 2.17. Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregados No. 8 | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.18. Permeámetro de carga variable recomendado por el ACI 522R-10..... | 37 |
| Figura 3.1. Contenido de pasta vs. Contenido de vacíos | 54 |
| Figura 3.2. Pesos de los agregados pétreos para la dosificación correspondiente..... | 57 |
| Figura 3.3. Mezclado de los agregados pétreos y el material cementante..... | 58 |
| Figura 3.4. Ensayo cono de Abrams y vaciado en los moldes cilíndricos..... | 58 |
| Figura 3.5. Vaciado de vigas | 59 |
| Figura 3.6. Desmoldé de las probetas..... | 59 |
| Figura 3.7. Pesos de las probetas cilíndricas y las vigas..... | 60 |
| Figura 3.8. Rotura de las probetas cilíndricas y las vigas..... | 60 |
| Figura 3.9. Ensayo de permeabilidad..... | 61 |
| Figura 3.10. Contenido de pasta vs. Contenido de vacíos | 76 |