

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



**“COMPARACIÓN DE LA PERMEABILIDAD OBTENIDA POR EL MÉTODO
DE CARGA VARIABLE Y EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN
UNIDIMENSIONAL”**

Autor:

EDWIN RODRIGO MARTINEZ CRUZ

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTONOMA
JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar el Título Académico de
Licenciatura de Ingeniería Civil.

Semestre II – 2020

Tarija – Bolivia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN”**

**“COMPARACIÓN DE LA PERMEABILIDAD OBTENIDA POR EL MÉTODO
DE CARGA VARIABLE Y EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN
UNIDIMENSIONAL”**

Por:

EDWIN RODRIGO MARTINEZ CRUZ

Semestre II – 2020

Tarija – Bolivia

V°B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
**DECANO FACULTAD CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
**VICEDECANA FACULTAD CIENCIA Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
M. Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores

.....
M. Sc. Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo

.....
Ph.D., Dr.Sc., M.Sc. Ing. Alberto Benítez Reynoso

DEDICATORIA.

Dedico con todo mi corazón este Proyecto de Grado a mis queridos padres Andrés Martínez Soraide e Inéz Cruz Díaz, por ser la base fundamental en mi familia y enseñarme a seguir adelante sobre cualquier circunstancia que se presenta en la vida y a mis hermanos Sonia, Silvia, Yamil y Sharid, por apoyarme en todo momento, y creer que sí lo iba a lograr.

AGRADECIMIENTO.

Primordialmente agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y brindarme siempre salud sabiduría y fortaleza en mis momentos de debilidad.

A mis queridos padres por el apoyo infinito que me brindaron.

A mis hermanos por ayudarme de una u otra forma cuando necesitaba de ellos.

A los docentes que constantemente me enseñaron este hermoso saber de la Ingeniería Civil.

A la Ingeniera Laura Soto, por haber sido un pilar fundamental en la elaboración de este proyecto, por haberme motivado, guiado y apoyado, a séguir adelante en todo momento.

Al Ingeniero Rene García, por el apoyo incondicional brindado hacia mi persona y enseñarme a ser una persona perseverante.

PENSAMIENTO.

“Siento una gran gratitud por los que me dijeron que NO, gracias a ellos lo hice yo mismo.

Karl Popper

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA	3
1.2.1. Problema	3
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. HIPÓTESIS.....	5
1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	6
1.6.1. Variable independiente.....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.6.3. Conceptualización y operalización de las variables.....	7
1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	8
1.8. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.....	9
1.8.1. Unidad de estudio.....	9
1.8.2. Población.....	9
1.8.3. Muestra.....	11
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	11
1.9. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	11

1.9.1. Métodos deductivos	11
1.9.2. Técnicas de muestreo	11
1.10. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	12
1.11. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	12

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA PERMEABILIDAD Y CONSOLIDACIÓN DE LOS SUELOS

	Página
2.1. CONCEPTO DE SUELO	13
2.2. TIPOS DE SUELO	13
2.2.1. Suelos residuales	13
2.2.2. Suelos transportados.....	13
2.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO	14
2.3.1. Granulometría	14
2.3.1.1. Análisis granulométrico con mallas	16
2.3.1.2. Análisis hidrométrico	18
2.3.2. Relación de peso y volumen	20
2.3.3. Peso específico relativo	22
2.3.4. Consistencia	23
2.3.4.1. Límites de Atterberg	24
2.3.4. Estructura y cohesión del suelo	25
2.4. ARCILLAS	27
2.4.1. Minerales constitutivos de las arcillas.....	27
2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	29

2.5.1. Sistema de clasificación unificado (SUCS)	30
2.5.2. Sistema de clasificación de suelos de la (AASHTO)	31
2.6. LA CONSOLIDACIÓN	33
2.6.1. Principios de consolidación	33
2.6.2. Teoría de consolidación Terzaghi 1925	38
2.6.3. Clases de consolidación	39
2.6.4. Prueba de consolidación unidimensional en laboratorio	39
2.6.5. Método Taylor de consolidación unidimensional	41
2.6.6. Asentamiento por consolidación primaria	43
2.6.7. Presión de preconsolidación	47
2.6.8. Determinación del coeficiente de permeabilidad a partir de los datos de consolidación	48
2.7. PERMEABILIDAD	50
2.7.1. Introducción	50
2.7.2. Flujo laminar y turbulento	50
2.7.3. Ecuación de Bernoulli	51
2.7.4. Ecuación de Darcy	55
2.7.5. Conductividad hidráulica	56
2.7.6. Métodos para medir el coeficiente de permeabilidad del suelo	58
2.7.7. Ensayos de laboratorio para determinar la conductividad hidráulica	60
2.7.7.1. Ensayo de carga variable	60
2.8. PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA	64
2.8.1. Estadística Descriptiva	64
2.8.2. Distribución de frecuencia	64
2.8.3. Conceptos básicos de las medias de tendencia central	65

2.8.3.1. Media.....	65
2.8.3.2. Mediana.....	66
2.8.3.3. Moda	66
2.8.4. Conceptos básicos de las medidas de dispersión	66
2.8.4.1. Rango	67
2.8.4.2. Desviación estándar	67
2.8.4.3. Varianza	67
2.8.5. Concepto básico de las medias de posición	67
2.8.5.1. Asimetría.....	67
2.8.5.2. Curtosis	68
2.8.6. Estadística inferencial	68
2.8.6.1. Distribución continua de probabilidad.....	68
2.8.6.2. Prueba de hipótesis.....	70
2.8.6.3. Prueba de Anderson Darling	71
2.8.6.4. Prueba t de Student.....	72
2.8.6.5. Prueba W de Mann-Whitney.....	73
2.8.6.6. Regresión y correlación.....	74

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

	Página
3.1. INTRODUCCIÓN	79
3.2. ZONA DE ESTUDIO	79
3.2.1. Criterios de selección de muestras	80
3.2.1.1. Tenacidad consistencia cerca del límite plástico	80
3.2.2. Descripción y ubicación de los suelos estudiados.....	81
3.2.2.1. Fotos satelitales de Google Earth de los barrios de extracción de muestras	82
3.2.3. Coordenadas de las zonas de estudio	84
3.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	85
3.3.1. Programa estratégico de trabajo	85
3.3.2. Extracción de muestras	86
3.3.2.1. Introducción	86
3.3.2.2. Objetivos	86
3.3.2.3. Toma de muestras	87
3.3.2.4. Equipo utilizado	87
3.3.2.5. Procedimiento de extracción de la muestra.....	87
3.3.3. Determinación en laboratorio del contenido de humedad del suelo	91
3.3.3.1. Introducción	91
3.3.3.2. Objetivo.....	91
3.3.4. Análisis granulométrico por tamizado	92
3.3.4.1. Introducción	92
3.3.4.2. Objetivos	92
3.3.5. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	94

3.3.5.1. Introducción	94
3.3.5.2. Objetivos	94
3.3.6. Determinación del peso específico de los suelos	96
3.3.6.1. Introducción	96
3.3.6.2. Objetivos	96
3.3.7. Determinación del límite líquido de los suelos	97
3.3.7.1. Introducción	97
3.3.7.2. Objetivos	97
3.3.8. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	98
3.3.8.1. Introducción	98
3.3.8.2. Objetivos	98
3.3.9. Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS.....	100
3.3.9.1. Introducción	100
3.3.9.2. Objetivos	100
3.4. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	101
3.4.1. Permeámetro de carga variable	101
3.4.1.1. Introducción	101
3.4.1.2. Objetivos	101
3.4.1.3. Equipos y material utilizado.....	101
3.4.1.4. Preparación de la muestra	105
3.4.1.5. Procedimiento de laboratorio	106
3.4.1.6. Cálculos para la determinación del coeficiente de permeabilidad "k"	109
3.4.2. Ensayo de consolidación unidimensional de los suelos.....	113

3.4.2.1. Introducción	113
3.4.2.2. Objetivos	114
3.4.2.3. Equipo y material utilizado	114
3.4.2.4. Preparación de la muestra	117
3.4.2.5. Procedimiento en laboratorio	118
3.4.2.6. Determinación indirecta del coeficiente de permeabilidad "k" a través del ensayo edométrico	121

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1. INTRODUCCIÓN	130
4.2. RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO	131
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	132
4.3.1. Análisis estadísticos de la variable continua permeabilidad, método de carga variable	133
4.3.1.1. Los Chapacos	133
4.3.1.2. Torrecillas	138
4.3.1.3. El Constructor	142
4.3.1.4. San Blas	146
4.3.1.5. San Jorge II	150
4.3.2. Análisis estadístico de la variable continua permeabilidad, obtenida por el ensayo edométrico	154
4.3.2.1. Los Chapacos	154
4.3.2.2. Torrecillas	157

4.3.2.3. El Constructor	160
4.3.2.4. San Blas.....	163
4.3.2.5. San Jorge II	166
4.4. COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.....	169
4.4.1. Comparación del coeficiente de permeabilidad, para el barrio	
Los Chapacos	169
4.4.2. Comparación del coeficiente de permeabilidad, para el barrio	
Torrecillas	176
4.4.3. Comparación del coeficiente de permeabilidad, para el barrio	
El Constructor	182
4.4.4. Comparación del coeficiente de permeabilidad, para el barrio San Blas.....	188
4.4.5. Comparación del coeficiente de permeabilidad, para el barrio	
San Jorge II	194
4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	201

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. CONCLUSIONES	210
5.2. RECOMENDACIONES	212

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS I. ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXOS II. PROCESAMIENTO DE DATOS Y RESULTADOS DE LOS

ENSAYOS DE LABORATORIO

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de las variables independientes	7
Tabla 2. Conceptualización y operacionalización de las variables dependientes	8
Tabla 3. Tamaño de la muestra	10
Tabla 4. Límites de separación de tamaño de suelo.....	16
Tabla 5. Tamaños de mallas estándar en EE.UU.....	17
Tabla 6. Límites del tamaño de suelos separados	20
Tabla 7. Símbolos de identificación.....	30
Tabla 8. Sistema de clasificación de suelos AASHTO.....	32
Tabla 9. Relación entre diversos parámetros de esfuerzo, deformación en compresión confinada	46
Tabla 10. Valores típicos de conductividad hidráulica para suelos saturados	56
Tabla 11. Variación de $\eta(T^{\circ}C) / \eta (20^{\circ}C)$	57
Tabla 12. Valores típicos del coeficiente de permeabilidad	58
Tabla 13. Interpretación del coeficiente de determinación	78
Tabla 14. Coordenadas de los barrios de estudio	84
Tabla 15. Resumen del registro de profundidad de extracción de las muestras	88
Tabla 16. Presiones admisibles en el terreno de cimentaciones.....	89
Tabla 17. Resumen de los resultados del porcentaje de humedad en los suelos	91
Tabla 18. Resumen de los resultados de la granulometría	93
Tabla 19. Resumen de los resultados del análisis granulométrico a través del hidrómetro.....	95
Tabla 20. Resumen de los resultados del peso específico de los suelos	96
Tabla 21. Resumen de los resultados de los límites de consistencia	99
Tabla 22. Resumen de los resultados de clasificación de suelos.....	100
Tabla 23. Corrección por viscosidad.....	111
Tabla 24. Resumen de los resultados de permeabilidad por el método de carga variable, permeámetro de carga descendente.....	112
Tabla 25. Tiempos registrados en el edómetro	119

Tabla 26. Resumen de los resultados de permeabilidad por el método edométrico	129
Tabla 27. Parámetros de granulometria, plasticidad, peso específico y permeabilidad promedio de las muestras estudiadas	131
Tabla 28. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el método de carga variable procedente del barrio Los Chapacos	133
Tabla 29. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio Los Chapacos.....	134
Tabla 30. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio Los Chapacos	135
Tabla 31. Coeficiente de variación para el análisis de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable procedente del barrio Los Chapacos	137
Tabla 32. Valores típicos de coeficiente de variación.....	137
Tabla 33. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el método de carga variable procedente del barrio Torrecillas	138
Tabla 34. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio Torrecillas	139
Tabla 35. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio Torrecillas.....	140
Tabla 36. Coeficiente de variación para el análisis de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable procedente del barrio Torrecillas.....	141
Tabla 37. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el método de carga variable procedente del barrio El Constructor.....	142
Tabla 38. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio El Constructor.....	143
Tabla 39. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio El Constructor.....	144
Tabla 40. Coeficiente de variación para el análisis de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable procedente del barrio El Constructor.	145

Tabla 41. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el método de carga variable procedente del barrio San Blas	146
Tabla 42. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio San Blas	147
Tabla 43. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio San Blas	148
Tabla 44. Coeficiente de variación para el análisis de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable procedente del barrio San Blas.....	149
Tabla 45. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el método de carga variable procedente del barrio San Jorge II	150
Tabla 46. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio San Jorge II.....	151
Tabla 47. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio San Jorge II.....	152
Tabla 48. Coeficiente de variación para el análisis de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable procedente del barrio San Jorge II	153
Tabla 49. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el ensayo edométrico procedente del barrio Los Chapacos.....	154
Tabla 50. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad para el barrio Los Chapacos.....	154
Tabla 51. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio Los Chapacos	155
Tabla 52. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el ensayo edométrico procedente del barrio Torrecillas.....	157
Tabla 53. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio Torrecillas.....	157
Tabla 54. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio Torrecillas.....	158
Tabla 55. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el ensayo edométrico, procedente del barrio El Constructor.....	160

Tabla 56. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio El Constructor.....	160
Tabla 57. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio El Constructor	161
Tabla 58. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el ensayo edométrico procedente del barrio San Blas	163
Tabla 59. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio San Blas.....	163
Tabla 60. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio San Blas	164
Tabla 61. Resumen de los resultados de la permeabilidad por el ensayo edométrico procedente del barrio San Jorge II.....	166
Tabla 62. Resumen estadístico descriptivo de la variable aleatoria permeabilidad procedente del barrio San Jorge II.....	166
Tabla 63. Prueba de bondad de ajuste Anderson Darling para la variable permeabilidad proveniente del barrio San Jorge II.....	167
Tabla 64. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el ensayo de carga variable para un suelo "CH".....	169
Tabla 65. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el edómetro para un suelo " CH"	170
Tabla 66. Permeabilidad del edómetro obtenido a través del proceso de interpolación entre la relacion de vacíos y permeabilidad para un suelo " CH".....	170
Tabla 67. Resumen estadístico de la comparación de variables permeabilidad, para un suelo "CH"	172
Tabla 68. Resumen promedio de los ensayos efectuados por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico para un suelo "CH"	175
Tabla 69. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el ensayo de carga variable para un suelo "ML-CL"	176
Tabla 70. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el edómetro para un suelo " ML-CL"	177

Tabla 71. Permeabilidad del edómetro obtenido a través del proceso de interpolación entre la relacion de vacíos y permeabilidad para un suelo " ML-CL".....	177
Tabla 72. Resumen estadístico de la comparación de variables permeabilidad para un suelo "CL-ML"	178
Tabla 73. Resumen promedio de los ensayos efectuados por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo "ML-CL"	181
Tabla 74. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el ensayo de carga variable para un suelo "CL"	182
Tabla 75. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el edómetro para un suelo " CL".....	183
Tabla 76. Permeabilidad del edómetro obtenido a través del proceso de interpolación entre la relacion de vacíos y permeabilidad para un suelo " CL".....	183
Tabla 77. Resumen estadístico de la comparación de variables permeabilidad para un suelo "CL"	184
Tabla 78. Resumen promedio de los ensayos efectuados por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico "CL"	187
Tabla 79. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el ensayo de carga variable para un suelo "ML".....	188
Tabla 80. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el edómetro para un suelo " ML".....	189
Tabla 81. Permeabilidad del edómetro obtenido a través del proceso de interpolación entre la relacion de vacíos y permeabilidad para un suelo " ML".....	189
Tabla 82. Resumen estadístico de la comparación de variables permeabilidad para un suelo " ML".....	190
Tabla 83. Resumen promedio de los ensayos efectuados por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo "ML"	193
Tabla 84. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el ensayo de carga variable para un suelo "MH"	194

Tabla 85. Relacion de vacíos y permeabilidad obtenida por el edómetro para un suelo "MH"	195
Tabla 86. Permeabilidad del edómetro obtenido a través del proceso de interpolación entre la relacion de vacíos y permeabilidad para un suelo "MH"	195
Tabla 87. Resumen estadístico de la comparación de variables permeabilidad para un suelo "MH"	196
Tabla 88. Resumen promedio de los ensayos efectuados por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo "MH"	199
Tabla 89. Resumen del coeficiente de permeabilidad promedio, para cada método tomando en cuenta el tipo de suelo	203
Tabla 90. Grado de correlación entre variables	205
Tabla 91. Coeficiente de correlación	205
Tabla 92. Valores del coeficiente de permeabilidad de las muestras estudiadas.....	209
Tabla 93. Valores típicos del coeficiente de permeabilidad	209

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Curva de la distribución granulométrica de un suelo de grano grueso obtenida en un análisis con mallas.	17
Figura 2. Análisis granulométrico con el hidrómetro	19
Figura 3. Esquema de una muestra de suelo	20
Figura 4. Esquema de una muestra de suelo saturado y no saturado	21
Figura 5. Límites de Atterberg	24
Figura 6. Definición de los límites de Atterberg	25
Figura 7. Estructuras que dan cohesión a los suelos granulares	26
Figura 8. Estructura de las partículas de arcilla sedimentadas.....	27
Figura 9. Gráfica de plasticidad.	31
Figura 10. Modelo cilindro, resorte.....	34
Figura 11. Variación del esfuerzo total, la presión de agua intersticial y el esfuerzo efectivo en una capa de arcilla drenada en la parte superior y la parte inferior como resultado de un esfuerzo añadido, $\Delta\sigma$	37
Figura 12. Consolidómetro.....	40
Figura 13. Gráfica de deformación en función del tiempo durante una consolidación para un incremento particular de la carga.	40
Figura 14. Lectura del deformímetro Vs $\sqrt{\text{tiempo}}$	43
Figura 15. Cambio en la altura de la muestra en una prueba de consolidación en una dimensión.....	44
Figura 16. Gráfica típica de e en función de $\log \sigma'$	45
Figura 17. Rango de C_v Según el Departamento de Marítima de Estados Unidos.....	46
Figura 18. Curva e - $\log \sigma'$ para una arcilla suave del este de San Louis, Illinois.....	47
Figura 19. Distinción experimental objetiva entre flujo laminar y turbulento.....	51

Figura 20. Presión, elevación y cargas totales para el flujo del agua a través de un suelo	53
Figura 21. Naturaleza de la variación de v con el gradiente hidráulico, i	54
Figura 22. Prueba de permeabilidad de carga variable.	62
Figura 23. Histograma de frecuencia	65
Figura 24. La curva normal.....	69
Figura 25. Distribución gama.....	70
Figura 26. Programa estratégico de trabajo.....	85
Figura 27. Curva teórica de consolidación.....	121
Figura 28. Primer orden, consolidación por el método de Taylor	122
Figura 29. Segundo orden, consolidación por el método de Taylor	123
Figura 30. Tercer orden, consolidación por el método de Taylor.....	124
Figura 31. Cambio en la altura de la muestra en una prueba de consolidación en una dimensión	126
Figura 32. Curva típica de comprensibilidad.	127
Figura 33. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del método de carga variable, Los Chapacos.....	135
Figura 34. Distribución estadística Exponencial de 2 parametros para la variable permeabilidad obtenida por el método de carga variable, Los Chapacos	136
Figura 35. Histograma de la variable permeabilidad, obtenida a través del método de carga variable, Torrecillas	139
Figura 36. Distribución estadística Loglogística para la variable permeabilidad obtenida por el método de carga variable, Torrecillas	140
Figura 37. Histograma de la variable permeabilidad, obtenida a través del método de carga variable, El Constructor	143
Figura 38. Distribución estadística Valor extremo por maximo, para la variable permeabilidad obtenida por el método de caraga variable, El Constructor	144
Figura 39. Histograma de la variable permeabilidad, obtenida a travez del método de carga variable, San Blas	147

Figura 40. Distribución estadística Exponencial de 2 parámetros para la variable permeabilidad obtenida por el método de carga variable San Blas.....	148
Figura 41. Histograma de la variable permeabilidad, obtenida a travez del método de carga variable, San Jorge II	151
Figura 42. Distribución estadística Weibull de 3 parámetros para la variable permeabilidad obtenida por el método de carga variable, San Jorge II	152
Figura 43. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del ensayo edométrico, Los Chapacos	155
Figura 44. Distribución estadística Weibull de 3 parámetros, para la variable permeabilidad procedente del barrio, Los Chapacos.	156
Figura 45. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del ensayo edométrico, Torrecillas	158
Figura 46. Distribución estadística Exponencial de 2 parámetros, para la variable permeabilidad procedente del barrio, Torrecillas.....	159
Figura 47. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del ensayo edométrico, El Constructor	161
Figura 48. Distribución estadística Exponencial de 2 parámetros, para la variable permeabilidad procedente del barrio El Constructor.....	162
Figura 49. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del ensayo edométrico, San Blas.....	164
Figura 50. Distribución estadística Valor extremo más pequeño, para la variable permeabilidad procedente del barrio San Blas.....	165
Figura 51. Histograma de la variable permeabilidad obtenida a través del ensayo edométrico, San Jorge II	167
Figura 52. Distribución estadística Valor extremo más pequeño para la variable permeabilidad procedente del barrio San Jorge II	168
Figura 53. Relación de vacíos Vs permeabilidad "k", para un suelo "CH".....	171
Figura 54. Comparación de la permeabilidad promedio obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo CH.....	173

Figura 55. Comparación de la mediana para las variables permeabilidad obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo CH.....	174
Figura 56. Regresión entre el método de carga variable y el método edométrico, para un suelo CH.....	175
Figura 57. Relación de vacíos Vs permeabilidad "k", para un suelo "ML-CL".....	178
Figura 58. Comparación de la permeabilidad promedio obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo ML-CL.....	179
Figura 59. Comparación de las medianas para las variables permeabilidad, obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo ML-CL.....	180
Figura 60. Regresión entre el método de carga variable y el método edométrico, para un suelo ML-CL.....	182
Figura 61. Relación de vacíos Vs permeabilidad "k", para un suelo "CL".	184
Figura 62. Comparación de la permeabilidad promedio obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo CL.....	185
Figura 63. Comparación de las medianas para las variables permeabilidad, obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo CL.....	186
Figura 64. Regresión entre el método de carga variable y el método edométrico para un suelo CL.....	188
Figura 65. Relación de vacíos Vs permeabilidad "k", para un suelo "ML".	190
Figura 66. Comparación de la permeabilidad promedio obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo ML.....	191
Figura 67. Comparación de las medianas para las variables permeabilidad, obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo ML.....	192
Figura 68. Regresión entre el método de carga variable y el método edométrico para un suelo ML.....	194
Figura 69. Relación de vacíos Vs permeabilidad "k", para un suelo "MH".....	196

Figura 70. Comparación de la permeabilidad promedio obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo MH.....	197
Figura 71. Comparación de las medianas para las variables permeabilidad, obtenida por los métodos de carga variable y el ensayo edométrico, para un suelo MH.	198
Figura 72. Regresión entre el método de carga variable y el método edométrico para un suelo MH.....	200
Figura 73. Correlación entre el Índice de plasticidad y el Límite líquido para todos los suelos en análisis.....	201
Figura 74. Correlación entre el % de arcilla y el Límite líquido para todos los suelos en análisis.....	202
Figura 75. Resumen comparativo del coeficiente de permeabilidad para suelos CH y MH.....	204
Figura 76. Resumen comparativo del coeficiente de permeabilidad para suelos CL, ML y ML-CL.....	204
Figura 77. Variación del índice de vacíos con respecto a la presión aplicada en las muestras analizadas.....	207
Figura 78. Variación del coeficiente de permeabilidad con respecto a la presión aplicada en las muestras analizadas.....	208

ÍNDICE DE IMAGENES

	Página
Imagen 1. Mapa político de Bolivia, Departamento de Tarija y Provincia Cercado.	81
Imagen 2. Barrió San Jorge II de la ciudad de Tarija, extracción de muestra	82
Imagen 3. Barrió Los Chapacos de la ciudad de Tarija, extracción de muestra	82
Imagen 4. Barrió Torrecillas de la ciudad de Tarija, extracción de muestra	83
Imagen 5. Barrió El Constructor de la ciudad de Tarija, extracción de muestra	83
Imagen 6. Barrió San Blas de la ciudad de Tarija, extracción de muestra.....	84
Imagen 7. Extracción y Tallado de muestras.	90
Imagen 8. Determinación del contenido de humedad.	92
Imagen 9. Granulometría por tamizado	93
Imagen 10. Granulométrica por medio del hidrómetro.....	95
Imagen 11. Determinación del peso específico de los sólidos.....	97
Imagen 12. Determinación del límite plástico.	98
Imagen 13. Determinación del límite plástico	99
Imagen 14. Equipos de permeabilidad.	102
Imagen 15. Discos porosos	102
Imagen 16. Pedestal metálico.....	103
Imagen 17. Tapa superior del equipo.....	104
Imagen 18. Celda acrílica transparente	104
Imagen 19. Muestra preparada para ser ensayada.....	105
Imagen 20. Muestra preparada para ser ensayada en el equipo	107
Imagen 21. Muestra preparada para ser ensayada en el laboratorio	108
Imagen 22. Detalles del montaje para el ensayo de cabeza variable	109
Imagen 23. Equipo de consolidación del laboratorio de suelos de la Universidad Juan Misael Saracho	114
Imagen 24. Dial o deformímetro	115
Imagen 25. Equipo de carga.....	116
Imagen 26. Muestra preparada para ser ensayada.....	116

Imagen 27. Muestra seca después de ser ensayada	117
Imagen 28. Preparación de las muestras para el ensayo de edométrico.....	118
Imagen 29. Ensayo edométrico.....	120