

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



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PERMEABILIDAD IN SITU Y  
LABORATORIO.”**

**Por:**

**ELIAS JOEL CARI TAPIA**

**SEMESTRE I - 2017**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PERMEABILIDAD IN SITU Y  
LABORATORIO”**

**Por:**

**ELIAS JOEL CARI TAPIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentada a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

SEMESTRE I - 2017

**TARIJA - BOLIVIA**

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

.....  
M.Sc.Ing. Silvana Paz Ramírez  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Ada G. López Rueda**

.....  
**Ing. Laura K. Soto Salgado**

.....  
**Ing. Luis Alberto Yurquina F.**

### **ADVERTENCIA**

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

### **DEDICATORIAS:**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles.

A mis padres; Elías Cari Gareca y Victoria Tapia Cruz por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de superación y perseverancia en mi vida.

A todos mis hermanos; Moisés, Oscar, Silvia Yaneth, Roxana, Pascuala Cari Tapia, que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, quienes son una bendición en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, a mis hermanos por toda su ayuda y apoyo, Un agradecimiento especial a mi hermano Moisés Cari Tapia por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos de alientos en los momentos buenos y malos, un ejemplo de superación en la vida, gracias.

A la Ing. Laura Karina Soto Salgado por brindarme sus consejos, ayuda y colaboración en la parte de laboratorio de suelos del proyecto.

A mis compañeros y amigos de la U.A.J.M.S. donde me apoyaron en todo momento y donde compartimos buenos momentos.

**PENSAMIENTO:**

*“Nunca desistas de un sueño. Sólo trata de ver las señales que te lleven a él”*

***Paulo Coelho***

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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PERMEABILIDAD IN SITU Y  
LABORATORIO”**

**Por:**

**ELIAS JOEL CARI TAPIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentada a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL.

SEMESTRE I - 2017

**TARIJA - BOLIVIA**



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

.....  
M.Sc.Ing. Silvana Paz Ramírez  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE**  
**CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Ada G. López Rueda**

.....  
**Ing. Laura K. Soto Salgado**

.....  
**Ing. Luis Alberto Yurquina F.**

## **ADVERTENCIA**

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

### **DEDICATORIAS:**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles.

A mis padres; Elías Cari Gareca y Victoria Tapia Cruz por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de superación y perseverancia en mi vida.

A todos mis hermanos; Moisés, Oscar, Silvia Yaneth, Roxana, Pascuala Cari Tapia, que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, quienes son una bendición en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, a mis hermanos por toda su ayuda y apoyo, Un agradecimiento especial a mi hermano Moisés Cari Tapia por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos de alientos en los momentos buenos y malos, un ejemplo de superación en la vida, gracias.

A la Ing. Laura Karina Soto Salgado por brindarme sus consejos, ayuda y colaboración en la parte de laboratorio de suelos del proyecto.

A mis compañeros y amigos de la U.A.J.M.S. donde me apoyaron en todo momento y donde compartimos buenos momentos.

**PENSAMIENTO:**

*“Nunca desistas de un sueño. Sólo trata de ver las señales que te lleven a él”*

***Paulo Coelho***

## INDICE DE CONTENIDO

Advertencia  
Dedicatoria  
Agradecimiento  
Pensamiento  
Resumen

### CAPITULO I INTRODUCCION

	pag.	
1.1.	introduccion	1
1.2.	justificacion	3
1.3.	diseño teorico	3
1.3.1.	planteamiento del problema	3
1.3.1.1.	situación problemática	3
1.3.1.2.	problema	4
1.4.	objetivos de la investigación	4
1.4.1.	objetivo general	4
1.4.2.	objetivos específicos	4
1.5.	hipotesis	5
1.6.	definición de variables independiente y dependientes	5
1.6.1.	variable independiente	5
1.6.2.	variable dependiente	5
1.6.3.	conceptualización y operacionalización	6
1.7.1.1.	unidad de estudio	8
1.7.1.2.	población	8
1.7.1.3.	muestra	8
1.7.1.4.	muestreo	8
1.8.	métodos técnica y procedimientos	9
1.9.	técnicas de muestreo	11
1.10.	procedimiento de aplicación	11
1.11.	preparación de instrumentos de aplicación	20
1.12.	proceso estadístico	23
1.12.1.	probabilístico	23
1.12.2.	procedimiento para el análisis e interpretación de información	23
1.13.	tipo de investigación	23
1.14.	alcance de la investigación	24

### CAPITULO II FUNDAMENTO TEORICO

	pag.	
2.1.	generalidades acerca del flujo del suelo	26
2.2.	fenómeno capilar del suelo	26

2.2.1.	cohesion y adhesión	26
2.2.2.	la tensión superficial	26
2.2.3.	tensión capilar	28
2.2.4.	ascensión capilar en suelos	29
2.3.	ley de Darcy y el coef. de permeabilidad	30
2.4.	factores que influyen en la permeabilidad de los suelos	32
2.5.	métodos de la medición de la permeabilidad	32
2.6.	porosidad	35
2.7.	relación de vacíos	35
2.8.	contenido de humedad	37
2.9.	densidad aparente del suelo	37
2.10.	permeámetro de carga variable	37
2.11.	permeámetro de Guelph (in situ)	39

**CAPÍTULO III**  
**CRACTERIZACIÓN Y OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE**  
**DE PERMEABILIDAD (IN SITU) Y ( LABORATORIO)**

3.1.	introducción	pag. 43
3.2.	características de los materiales de estudio	43
3.2.1.	descripción y ubicación de los suelos	43
3.2.2.	coordenadas de los lugares de estudio	48
3.3.	criterios de la selección de muestras	48
3.3.1.	toma muestras	49
3.3.1.1.	equipos utilizados	49
3.3.1.2.	procedimientos de extracción de la muestra	49
3.4.	caracterización de los suelos	52
3.4.1.	ensayo granulométrico	53
3.4.1.1.	objetivo	53
3.4.2.	ensayo análisis granulométrico por medio del hidrómetro	55
3.4.2.1.	objetivo	55
3.4.3.	ensayo límite líquido	57
3.4.3.1.	objetivo	57
3.4.4.	ensayo límite plástico	58
3.4.4.1.	objetivo	58
3.4.5.	ensayo densidad in situ	61
3.4.5.1.	objetivo	61
3.4.6.	ensayo contenido de humedad	62
3.4.6.1.	objetivo	62
3.4.7.	ensayo del coef. de permeabilidad in situ	64
3.4.7.1.	objetivo	64
3.4.8.	ensayo del coef. de permeabilidad en laboratorio	65

A.1.1.3.	procedimiento de laboratorio	113
A.1.1.4.	calculos	115
A.1.2.	analisis de hidrometro	115
A.1.2.1.	objetivos	115
A.1.2.2.	equipo utilizado	115
A.1.2.3.	procedimiento de laboratorio	116
A.1.2.4.	calculos	117
A.1.3.	deter. Del peso especifico relativo	120
A.1.3.1.	objetivos	120
A.1.3.2.	equipo utilizados	120
A.1.3.4.	procedimiento de laboratorio	121
A.1.3.5.	calculos	122
A.1.4.	limites de consistencia	123
A.1.4.2.	objetivos	123
A.1.4.3.	equipo utilizados	123
A.1.4.4.	procedimiento de laboratorio	123
<b>A.1.5.</b>	<b>limite plastico</b>	<b>127</b>
<b>A.1.5.1.</b>	<b>calculos</b>	<b>127</b>
<b>A.1.6.</b>	<b>densidad in situ cono de arena</b>	<b>128</b>
<b>A.1.6.1.</b>	<b>objetivos</b>	<b>128</b>
<b>A.1.6.2.</b>	<b>equipo utilizado</b>	<b>128</b>
<b>A.1.6.3.</b>	<b>procedimiento de la practica</b>	<b>129</b>
<b>A.1.6.4.</b>	<b>metodologia en el campo</b>	<b>130</b>
<b>A.1.6.5.</b>	<b>calculos</b>	<b>132</b>
<b>A.1.7.</b>	<b>contenido de humedad</b>	<b>132</b>
<b>A.1.7.1.</b>	<b>objetivos</b>	<b>133</b>
<b>A.1.7.3.</b>	<b>procedimiento de la practica</b>	<b>134</b>
<b>A.1.7.4.</b>	<b>calculos</b>	<b>134</b>
<b>A.1.8.</b>	<b>coef. De permeabilidad in situ</b>	<b>135</b>
<b>A.1.8.1.</b>	<b>objetivos</b>	<b>135</b>
<b>A.1.8.2.</b>	<b>materiales utilizados</b>	<b>135</b>
<b>A.1.8.3.</b>	<b>procedimiento de la practica</b>	<b>135</b>
<b>A.1.8.4.</b>	<b>calculos</b>	<b>141</b>
<b>A.1.9.</b>	<b>coef. Permeabilidad laboratorio</b>	<b>144</b>
<b>A.1.9.1.</b>	<b>diseño del permeámetro</b>	<b>144</b>
<b>A.1.9.2.</b>	<b>objetivo</b>	<b>147</b>
<b>A.1.9.3.</b>	<b>materiales utilizados</b>	<b>147</b>
<b>A.1.9.4.</b>	<b>procedimiento de la practica</b>	<b>148</b>
<b>A.1.9.5.</b>	<b>prueba de permeabilidad en laboratorio</b>	<b>153</b>
<b>A.1.9.6.</b>	<b>calculos</b>	<b>155</b>

**INDICE DE IMAGEN**  
**CAPITULO I**



A.1.5.	limite plastico	127
A.1.5.1.	calculos	127
A.1.6.	densidad in situ cono de arena	128
A.1.6.1.	objetivos	128
A.1.6.2.	equipo utilizado	128
A.1.6.3.	procedimiento de la practica	129
A.1.6.4.	metodologia en el campo	130
A.1.6.5.	calculos	132
A.1.7.	contenido de humedad	132
A.1.7.1.	objetivos	133
A.1.7.3.	procedimiento de la practica	134
A.1.7.4.	calculos	134
A.1.8.	coef. De permeabilidad in situ	135
A.1.8.1.	objetivos	135
A.1.8.2.	materiales utilizados	135
A.1.8.3.	procedimiento de la practica	135
A.1.8.4.	calculos	141
A.1.9.	coef. Permeabilidad laboratorio	144
A.1.9.1.	diseño del permeámetro	144
A.1.9.2.	objetivo	147
A.1.9.3.	materiales utilizados	147
A.1.9.4.	procedimiento de la practica	148
A.1.9.5.	prueba de permeabilidad en laboratorio	153
A.1.9.6.	calculos	155

## INDICE DE IMAGEN

### CAPITULO I

		pag.
imagen.1.1.	cuarteo mecanico	10
imagen.1.2.	clasificacion SUSCS	13
imagen.1.3.	limites de atterber	15
imagen.1.4.	permeámetro de guelph	16
imagen.1.5.	extraccion de la muestra in situ	18
imagen.1.6	permeámetro de carga variable (laboratorio)	19
imagen.1.7.	accesorios del permeámetro de laboratorio	21

### CAPITULO II

		pag.
imagen.2.1.	diagrama que muestra el fenomeno de capilaridad	29
imagen.2.2.	movimiento de agua por capilaridad entres tipos de suelos	30
imagen.2.3.	diagrama de darcy	30
imagen.2.4.	porocidad	35
imagen.2.5.	relacion de vacios	36

imagen.2.6.	relacion de vacios	36
imagen.2.7.	contenido de humedad	37
imagen.2.8.	permeametro de carga variable	38
imagen.2.9.	permeametro de guelph tubo mariotti	40
imagen.2.10.	construccion del agujero de infiltracion	41
imagen.2.11.	instalacion y llenado del permeametro	42
imagen.2.12.	nivel de agua dentro del permeametro	42

### CAPITULO III

		pag.
imagen.3.1.	mapa politico	43
imagen.3.2.	barrios de extracion de la prov.cercado del dep.Tarija	45
imagen.3.3.	barrios de extracion de la prov.cercado del dep.Tarija	45
imagen.3.4.	barrios de extracion de la prov.cercado del dep.Tarija	46
imagen.3.5.	barrios de extracion de la prov.cercado del dep.Tarija	46
imagen.3.6.	barrios de extracion de la prov.cercado del dep.Tarija	47
imagen.3.7.	materiales utilizados para la extraccion de la muestra	50
imagen.3.8.	esquema de la extraccion de muestra	51
imagen.3.9.	esquema de la extraccion de muestra	51
imagen.3.10.	esquema de la practica granulometrica	53
imagen.3.11.	esquema de la practica del hidrometro	55
imagen.3.12.	esquema de la practica limites de atterber	57
imagen.3.13.	esquema de la practica densidad in situ	61
imagen.3.14.	esquema de la practica contenido de humedad	62
imagen.3.15.	esquema de la practica permeabilidad in situ	64
imagen.3.16.	esquema de la practica permeabilidad en laboratorio	65

### CAPITULO IV

		pag.
imagen.4.1.	correlacion de suelos MH	72
imagen.4.5.	correlacion de suelos CL	76
imagen.4.9.	correlacion de suelos ML	80
imagen.4.13.	correlacion de suelos CH	84
imagen.4.17.	valores coeficiente de permeabilidad	95
imagen.4.18.	comparacion suelos MH	97
imagen.4.19.	influencias suelos MH	98
imagen.4.20.	comparacion suelos ML	100
imagen.4.21.	influencias suelos ML	101
imagen.4.22.	comparacion suelos CH	103
imagen.4.23.	influencias suelos CH	103
imagen.4.24.	comparacion suelos CL	105
imagen.4.25.	influencias suelos CL	106

## ANEXOS I

	pag.
imagen.A.1. metodo del labado tamiz numero 200	113
imagen.A.2. juego de tamizes	114
imagen.A.3. tamizado	114
imagen.A.4. hidrometro para lectura	117
imagen.A.5. hidrometro para lectura	117
imagen.A.6. limite liquido casa grande	125
imagen.A.7. limite liquido casa grande enrazado	125
imagen.A.8. limite liquido casa grande ranura	126
imagen.A.10. realizacion del golpeo	126
imagen.A.11. materiales utilizados in situ	129
imagen.A.12. realizacion del pozo de 15 cm para el ensayo densidad in situ	130
imagen.A.13. pozo 15 cm	131
imagen.A.14. ensayo con el cono de arena	131
imagen.A.15. la muestra en el horno	133
imagen.A.16. muestra seca en 24 hrs	133
imagen.A.17. construccion agujero de infiltracion	136
imagen.A.18. instalacion y llenado del permeametro de guelph	137
imagen.A.19. tubo mariotti (guelph)	137
imagen.A.20. valvula de regulacion (guelph)	138
imagen.A.21. nivel del agua dentro del permeametro	139
imagen.A.22. lecturacion nivel de agua en le permeametro	139
imagen.A.23. formato de hoja de datos.	140
imagen.A.24. valores parametro $\alpha^*$	141
imagen.A.25. formula de calculo de Q1	142
imagen.A.26. formula reynols y erick	142
imagen.A.27. hoja de calculo excel	143
imagen.A.28. hoja de calculo excel	144
imagen.A.29. partes permeametro carga variable	145
imagen.A.30. malla de 100 mm	146
imagen.A.31 llave plastica a presion de 2 pulg.	146
imagen.A.32. capsula toma muestras	147
imagen.A.33. identificacion del estrato de prueba	148
imagen.A.34. labrado del cono para colocar el extractor	149
imagen.A.35. colocado el equipo extractor del suelo	149
imagen.A.36. realizando el hincado del tomamuestras	150
imagen.A.37. realizando el hincado del tomamuestras	150
imagen.A.38. realizando el hincado del tomamuestras	151
imagen.A.39. muestra extraida sin inalterar	151
imagen.A.40. capsula tomamuestras tapa de proteccion	152
imagen.A.41. capsula tomamuestras tapa de proteccion	152
imagen.A.42. colocado de la capsula del toma muestras al permeametro	153

imagen.A.43.	lecturas de la alturas de carga H1 y H2	154
imagen.A.44	hoja excel de calculo	156

## TABLAS CAPITULO I

		pag.
tabla.1.1.	valores independientes	6
tabla.1.2.	valores dependientes	7

## CAPITULO II

		pag.
tabla.2.1.	valores de la tension superficial del agua	28
tabla.2.2.	valores tipicos del coeficiente de permeabilidad	31
tabla.2.3.	metodos estandarizados por ASTM	34

## CAPITULO III

		pag.
tabla.3.1.	coordenadas de los lugares de estudio	48
tabla.3.2.	resumen de resultados granulometricos	54
tabla.3.3.	resumen de resultados hidrometro	56
tabla.3.4.	resumen de resultados limite	59
tabla.3.5.	resumen de resultados de clasificacion de suelos	60
tabla.3.6.	resumen de densidad , relacion de vacios , porosidad y c. h.	63
tabla.3.7.	resumen resultados (K in situ) y ( K laboratorio)	66
tabla.3.8.	datos finales suelos MH	67
tabla.3.9.	datos finales suelos ML	68
tabla.3.10.	datos finales suelos CH	69
tabla.3,11.	datos finales suelos CL	70

## CAPITULO IV

		pag.
tabla.4.1.	datos de comparacion suelos MH	72
tabla.4.2.	resultados de correlacion	75
tabla.4.3.	rangos de correlacion	75
tabla.4.4.	datos de comparacion suelos CL	76
tabla.4.6.	resultados de correlacion	79
tabla.4.7.	datos comparacion suelos ML	80
tabla.4.8.	resultados de correlacion	83
tabla.4.9.	rangos de correlacion	83
tabla.4.10.	datos de comparacion suelos CH	84
tabla.4.11.	resultados de correlacion	87
tabla.4.12.	rangos de correlacion	87

tabla.4.13.	resultados de correlacion finales	88
tabla.4.15.	planilla de descripcion de resul. De los suelos "MH"	90
tabla.4.16.	planilla de descripcion de resul. De los suelos "CL"	90
tabla.4.17.	planilla de descripcion de resul. De los suelos "ML"	91
tabla.4.18.	planilla de descripcion de resul. De los suelos "CH"	91
tabla.4.19.	tablas ponderadas de resultados de los suelosMH	96
tabla.4.20.	tablas ponderadas de resultados de los suelos ML	99
tabla.4.21.	tablas de ponderacion suelos CH	102
tabla.4.22.	tablas de ponderacion suelos CL	104