

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS LÍMITES DE FLUJO
TRANSITORIO EN ARENAS DEL RÍO GUADALQUIVIR Y RÍO
SANTA ANA MEDIANTE EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD”**

Por:

JUAREZ DONAIRE OVIDIO

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.

Gestión 2014

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACION

**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS LÍMITES DE FLUJO
TRANSITORIO EN ARENAS DEL RÍO GUADALQUIVIR Y RÍO
SANTA ANA MEDIANTE EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD”**

Por:

JUAREZ DONAIRE OVIDIO

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.

Gestión 2014

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozálvez
DECANO
FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA

.....
M. Sc. Ing. Silvana Sandra Paz Ramírez
VICEDECANO
FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Laura Karina Soto Salgado

.....
Ing. Moisés Eduardo Díaz Ayarde

.....
Ing. Joel Paco Sarzuri

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

INDICE

Advertencia	
Pensamiento	
Resumen	
	Pág.
Introducción	1
 CAPITULO I	
1.1. Situación Problemica.	2
1.2. Problema.	2
1.3. Objetivos.	2
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
1.4. Hipótesis.	3
1.5. Alcance de la Investigación.	4
1.6. Definición de Variables.	4
1.6.1. Variables Independientes.....	4
1.6.2. Variables Dependientes.	4
 CAPITULO II	
2.1. Estructuración de los suelos.....	5
2.2. Identificación de los suelos.....	5
2.2.1. Análisis por cribado.	6
2.2.3. Curva de distribución granulométrica.	7
2.2.3.1. Coeficiente de uniformidad (Cu).....	9
2.2.3.2. Coeficiente de curvatura (Cc).....	10
2.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).....	11
2.4. Estructura física del suelo.	13
2.4.1. Relaciones Volumétricas y Gravimétricas del suelo.....	14
2.4.1.1. Relaciones Volumétricas.	15

2.4.1.1.1. Relación de vacíos (e).....	15
2.4.1.1.2. Porosidad (n).....	15
2.4.1.1.3. Grado de Saturación (S).....	16
2.4.1.2. Relaciones Gravimétricas.....	16

CAPITULO III

3.1	Introducción.....	19
3.2	Movimiento del agua a través del suelo.....	20
3.3	Concepto de carga.....	21
3.4	Gradiente hidráulico (<i>i</i>).....	23
3.5	Condiciones del flujo subterráneo.....	24
3.6	Ley de Darcy.....	25
3.7	Validez de la Ley de Darcy.....	27
3.8	Coefficiente de permeabilidad (K).....	30
3.9	Factores que afectan el valor de la permeabilidad.....	30
3.9.1	Efecto de la temperatura en el coeficiente de permeabilidad.....	31
3.10	Métodos para la obtención del coeficiente de permeabilidad del suelo.....	32
3.11	Determinación del coeficiente de permeabilidad mediante Ensayo del Permeámetro de carga constante.....	32
3.12	Factores que afectan el valor de la permeabilidad medido en laboratorio.....	35
3.13	Métodos empíricos para determinar la conductividad hidráulica.....	36
3.14	Correlación de Hazen.....	37

CAPITULO IV

4.1.	Descripción general de las zonas de estudio.....	39
4.1.1.	Río Guadalquivir.....	39
4.1.2.	Rio Santa Ana.....	41
4.2.	Geología.....	43
4.2.1.	Rio Guadalquivir.....	43
4.2.2.	Rio Santa Ana.....	43

4.3.	Topografía.....	43
4.3.1.	Rio Guadalquivir.	43
4.3.2.	Río Santa Ana.....	44
4.4.	Mecánica de Suelos.....	44
4.4.1.	Criterios de Muestreo.	44
4.4.2.	Laboratorio.	46
4.4.2.1.	Ensayo de Limites de Atterberg.....	47
4.4.2.2.	Ensayo de granulometría.....	47
4.4.2.3.	Ensayo con el Permeámetro de Carga Descendente/Constante	48
4.5.	Resumen de muestras y ensayos realizados.....	51
4.5.1.	Rio Guadalquivir.	51
4.5.2.	Rio Santa Ana.....	51

CAPITULO V

5.1.	Análisis de información técnica.....	52
5.1.1.	Análisis de la curva granulométrica del suelo.....	52
5.1.1.1.	Rio Guadalquivir.	52
5.1.1.2.	Rio Santa Ana.....	53
5.1.2.	Análisis de los límites de Consistencia.	54
5.1.2.1.	Rio Guadalquivir.	54
5.1.2.2.	Rio Santa Ana.....	55
5.1.3.	Clasificación de suelos según SUCS.....	55
5.1.3.1.	Rio Guadalquivir.	55
5.1.3.1.	Rio Santa Ana.....	56
5.2.	Cálculos realizados para el ensayo de carga constante.....	56
5.3.	Resultados del ensayo de permeabilidad promedios.	57
5.3.1.	Rio Guadalquivir.....	57
5.3.2.	Rio Santa Ana.....	58
5.4.	Procedimiento de obtención de los Límites de Flujo Transitorio en arenas.....	59
5.5.	Análisis curvas de velocidad de flujo vs gradiente hidráulico.....	59

5.5.1. Rio Guadalquivir.....	60
5.5.2. Rio Santa Ana.....	61
5.6. Calculo del Número de Reynolds.....	62
5.7. Análisis del Número de Reynolds con el D10 y D50.....	62
5.7.1. Rio Guadalquivir.....	63
5.7.2. Rio Santa Ana.....	64
5.8. Límites de flujo transitorio Re d10 y Re d50.....	65
5.8.1 Rio Guadalquivir.....	65
5.8.2. Rio Santa Ana.....	66
5.9. Análisis del Número de Reynolds para los valores extremos de las arenas.....	67
5.9.1. Rio Guadalquivir.....	67
5.9.2. Rio Santa Ana.....	68
5.10. Límites de flujo transitorio Re N°40, Re N°10 y Re N°4.....	69
5.10.1 Rio Guadalquivir.....	69
5.10.2. Rio Santa Ana.....	71
5.11. Análisis de “K” según formula empírica de Hazen.....	72
5.11.1. Rio Guadalquivir.....	72
5.11.2. Rio Santa Ana.....	73
5.12. Aplicación Práctica.....	74
5.13. Ejemplo de Aplicación.....	74
5.14. Limitaciones del análisis.....	77
CAPITULO VI	
6.1. Conclusiones.....	79
6.2. Recomendaciones.....	81
BIBLIOGRAFIA.....	82

ANEXOS.

Índice de Tablas

Tabla 2. 1. Límites de tamaño de suelos separados (Braja M. Das).	5
Tabla 2. 2, Serie ASTM de tamices (ASTM D422).	7
Tabla 2. 3. Símbolos utilizados para la asignación del tipo de suelo según SUCS. ...	11
Tabla 2. 4. Combinación de Símbolos utilizados según SUCS.	12
Tabla 3. 1 Valores típicos del coeficiente de permeabilidad (Coduto, 1999).	30
Tabla 3. 2Valores del coeficiente C (Tindall & Kunkel 1999; Whitlow, 1994).	37
Tabla 5. 1 Resultado del Ensayo de permeabilidad promedios del rio Guadalquivir.	57
Tabla 5. 2 Comparación del K20 del rio Guadalquivir con el K obtenido por diversos autores.	57
Tabla 5. 3 Resultados del Ensayo de permeabilidad promedio rio Santa Ana.	58
Tabla 5. 4 Comparación del K20 del rio Santa Ana con el K obtenido por diversos autores.	58
Tabla 5. 5 Ecuaciones de las gráficas k20, velocidad vs i del Rio Guadalquivir.	60
Tabla 5. 6 Ecuaciones de las gráficas k20, velocidad vs i del Rio Santa Ana.	61
Tabla 5. 7 Ecuaciones de las gráficas Re vs v con D10 y D50 rio Guadalquivir.	63
Tabla 5. 8 Ecuaciones de las gráficas Re vs v con D10 y D50 rio Santa Ana.	64
Tabla 5. 9 Coordenadas de los límites de flujo transitorio con D10 y D50 del rio Guadalquivir.	65
Tabla 5. 10 Coordenadas de los límites de flujo transitorio con D10 y D50 del rio Santa Ana.	66
Tabla 5. 11 Ecuaciones de las gráficas Re vs v con D4.80, D2 y D0.43mm del rio Guadalquivir.	67
Tabla 5. 12 Ecuaciones de las gráficas Re vs v con D4.80, D2 y D0.43mm del rio Santa Ana.	68
Tabla 5. 13 Coordenadas de los límites de flujo transitorio con D0.43, D2 y D4.80 del rio Guadalquivir.	69
Tabla 5. 14 Coordenadas de los límites de flujo transitorio con D0.43, D2 y D4.80 del rio Santa Ana.	71

Índice de Figuras

Figura 2. 1. Determinación de Granulometría.	7
Figura 2. 2. Curva de distribución del tamaño de partículas.	8
Figura 2. 3. Tipos diferentes de curvas granulométricas (Coduto, 1999).....	9
Figura 2. 4. Clasificación de Suelos por SUCS (Guía Lab. Suelos U.A.J.M.S.).....	12
Figura 2. 5 (a) Esquema de una muestra de suelo, (b) Relaciones Peso-Volumen.....	13
Figura 3. 1 Trayectoria del flujo de agua en un suelo (Lambe & Whitman, 1976).	20
Figura 3. 2 Tubería con un piezómetro y tubo Pitot instalados (Coduto, 1999).....	21
Figura 3. 3 Piezómetro instalado en un suelo (Coduto, 1999).....	22
Figura 3. 4 Ubicación correcta de los puntos para determinar el gradiente hidráulico (Coduto, 1999).	24
Figura 3. 5 Naturaleza de la variación de la velocidad con el gradiente hidráulico. (Das2001).....	25
Figura 3. 6 Aparato para determinar la ley de flujo del agua a través de arenas (Darcy,1856)	26
Figura 3. 7 Valores límites del número de Reynolds (U.S. Engineers Corps, 1986). .	28
Figura 3. 8 Rango de Validez de la Ley de Darcy (Bear J.).	29
Figura 3. 9 Simplificación del permeámetro de carga constante (Das, 1998).	33
Figura 4. 1 Río Guadalquivir por su paso por la ciudad de Tarija.	39
Figura 4. 2. Ubicación de la zona de estudio en el río Guadalquivir.	40
Figura 4. 3. Río Guadalquivir por su paso por comunidad de La Pintada.	41
Figura 4. 4 Ubicación de la zona de estudio en el río Santa Ana.	42
Figura 4. 5 Ubicación de los bancos de áridos en un río.	44
Figura 4. 6 Extracción de muestra de la parte convexa del río de un punto de la rejilla.	45
Figura 4. 7 Esquema del procedimiento seguido en campo para la extracción de muestras.	46
Figura 4. 8 Esquema del procedimiento seguido en laboratorio para la preparación de las muestras de los ensayos.	47

Figura 4. 9 Equipo y materiales para el ensayo de permeabilidad.....	49
Figura 4. 10 Prueba de permeabilidad para carga constante.....	49
Figura 4. 11 Esquema a seguir para la Prueba de permeabilidad para carga constante.	50
Figura 5. 1 Curva granulométrica rio Guadalquivir (fuente propia).....	52
Figura 5. 2 Porcentaje de tamaño de partículas en el rio Guadalquivir.	53
Figura 5. 3 Curva granulométrica rio Santa Ana (fuente propia).	53
Figura 5. 4 Porcentaje de tamaño de partículas en el rio Santa Ana.....	54
Figura 5. 5 Esquema para la obtención de los límites de flujo transitorio en arenas..	59
Figura 5. 6 Curva v, k20 vs i pasa N°4 - N°10 Rio Guadalquivir.	60
Figura 5. 7 Curva v, k20 vs i pasa 3/8"-N°4 Rio Santa Ana.....	61
Figura 5. 8 Curva Re vs velocidad con D10 y D50 para 3/8"-N°4 rio Guadalquivir.	63
Figura 5. 9 Curva Re vs velocidad con D10 y D50 para 3/8"-N°4 rio Santa Ana.....	64
Figura 5. 10 Curva v vs i con límites de flujo transitorio con D10 para N°4-N°200 Rio Guadalquivir.....	65
Figura 5. 11 Curva v vs i con límites de flujo transitorio con D50 para N°4-N°10 Rio Santa Ana.	66
Figura 5. 12 Curva Re vs velocidad con D0.43, D2 y D4.80 para 3/8"-N°4 rio Guadalquivir.	68
Figura 5. 13 Curva Re vs velocidad con D0.43, D2 y D4.80 para 3/8"-N°4 rio Santa Ana.	69
Figura 5. 14 Curva v vs i con límites de flujo transitorio con D4.8 para 3/8"-N°4 Rio Guadalquivir.....	70
Figura 5. 15 Curva v vs i con límites de flujo transitorio con D4.8 para 3/8"-N°4 Rio Santa Ana.	71
Figura 5. 16 Capa drenante utilizada como capa permeable para interceptar flujo ascendente por subpresión.	75

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapas geológicos y zonificación de ríos para el aprovechamiento de áridos

Anexo 2. Implicaciones de la conductividad hidráulica (Holtz & Kovacs,1981).

Anexo 3. Cuadro para la corrección de viscosidad para n_t/n_{20} (Bowles, 1980).

Anexo 4. Ensayos de Suelos Rio Guadalquivir.

Anexo 5. Ensayos de Suelos Rio Santa Ana.

Anexo 6. Ensayo de Permeabilidad Rio Guadalquivir.

Anexo 7. Ensayo de Permeabilidad Rio Santa Ana.

Anexo 8. Fotografías extracción de la muestra del rio Guadalquivir.

Anexo 9. Fotografías de Ensayos de Laboratorio del rio Guadalquivir.

Anexo 10 Fotografías del Ensayo de Permeabilidad del rio Guadalquivir.

Anexo 11. Fotografías extracción de la muestra del rio Santa Ana.

Anexo 12. Fotografías de los Ensayos de Laboratorio del rio Santa Ana.

Anexo 13 Fotografía del Ensayo de Permeabilidad del rio Santa Ana.