

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



“ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE VERTEDEROS”

Por:

JHON ARIEL LÓPEZ REYNOSO

Semestre I - 2017

Tarija – Bolivia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS

“ESTUDIO Y PATRONAMIENTO DE VERTEDEROS”

Por:

JHON ARIEL LÓPEZ REYNOSO

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre I - 2017

Tarija – Bolivia

V°B°

Ing. Juan Carlos Loza
DOCENTE DE CIV- 502

.....
M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez

DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez

VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Alberto Calderón Orellana

.....
Ing. Jaime Zenteno Benítez

.....
Ing. Luis Fernando Gutiérrez Z.

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Eloy López Ramos quien no se encuentra conmigo, pero si en mi corazón y Francisca Reynoso Isnado por haber confiado en mí y haberme sacado adelante, a mis hermanos Sandra y Waldo. A toda mi familia, que me apoyaron durante mi vida universitaria en las buenas y en las malas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por mostrarme la luz y guía espiritual para mi crecimiento tanto intelectual como moral.

A mis padres por el amor que me brindaron sus desvelos, sus sacrificios, su amistad y compañerismo.

A mis hermanos por la ayuda que me dieron en los momentos más difíciles.

Al Ing. Cesar Fernando Pérez Peñalosa por ayudarme a que sea posible este Documento final.

Al Ing. Alberto Calderón, Ing. Jaime Zenteno y al Ing. Luis Gutiérrez, por toda su colaboración y tiempo para hacer mejor este trabajo.

A todo el personal administrativo de la carrera de Ingeniería Civil.

A los docentes por sus consejos y enseñanzas, haciéndome una personas de bien.

A la Universidad por abrirme las puertas hasta la culminación de mis estudios.

Y a todos mis amigos que me ayudaron y apoyaron durante mi vida universitaria.

¡¡Muchas Gracias!!

ÍNDICE

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Selección y definición del tema de proyecto..... | 1 |
| 1.1.1. Título del proyecto | 1 |
| 1.1.2. Antecedentes | 1 |
| 1.2. El problema de la investigación | 1 |
| 1.2.1. Planteamiento del problema..... | 1 |
| Pronóstico: | 2 |
| Control al pronóstico:..... | 2 |
| 1.2.2. Formulación del problema | 2 |
| 1.2.3. Sistematización del problema | 2 |
| 1.3. Objetivos del proyecto..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general | 3 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 3 |
| 1.4. Justificaciones del proyecto | 3 |
| 1.4.1. Justificación académica..... | 3 |
| 1.4.2. Justificación técnica | 3 |
| 1.4.3. Justificación social..... | 3 |
| 1.4.4. Justificación institucional..... | 4 |
| 1.5. Marco de referencia | 4 |
| 1.5.1. Marco teórico | 4 |
| 1.5.2. Marco conceptual | 5 |
| 1.5.3. Marco espacial | 6 |
| 1.5.4. Marco temporal | 6 |
| 1.6. Alcance | 6 |
| 2. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN | 8 |
| 2.1. Generalidades..... | 8 |
| 2.2. Clasificación de los vertederos..... | 9 |
| 2.2.1. Vertedero por su perfil o espesor de pared | 10 |
| 2.2.1.1. Vertedero de pared delgada | 11 |
| 2.2.1.1.1. Clasificación de los vertederos de pared delgada | 12 |
| 2.2.1.1.1.1. Vertedero semicircular | 13 |
| 2.2.1.1.1.1.1. Objetivo general..... | 13 |
| 2.2.1.1.1.1.2. Objetivos específicos..... | 13 |
| 2.2.1.1.1.1.3. Fundamentación teórica | 13 |
| 2.2.1.1.1.1.4. Equipos y materiales | 15 |
| 2.2.1.1.1.1.5. Procedimiento de la práctica..... | 16 |
| 2.2.1.1.1.1.6. Planilla de obtención de datos | 16 |
| 2.2.1.1.1.1.7. Procesamiento de datos..... | 16 |

| | |
|--|------------|
| 2.2.1.1.1.1.8. Planilla de resultados | 17 |
| 2.2.1.1.1.1.9. Preguntas de repaso..... | 17 |
| 2.2.1.1.1.1.10. Mejorando la información..... | 17 |
| 2.2.1.2. Vertedero de pared gruesa | 20 |
| 2.2.1.2.1. Clasificación de los vertederos de pared gruesa | 21 |
| 2.2.1.2.1.1. Vertederos Triangular o Crump..... | 21 |
| 2.2.1.2.1.1.1. Objetivo general..... | 21 |
| 2.2.1.2.1.1.2. Objetivos específicos..... | 22 |
| 2.2.1.2.1.1.3. Fundamentación teórica | 22 |
| 2.2.1.2.1.1.4. Equipos y materiales | 24 |
| 2.2.1.2.1.1.5. Procedimiento de la práctica..... | 24 |
| 2.2.1.2.1.1.6. Planilla de obtención de datos | 25 |
| 2.2.1.2.1.1.7. Procesamiento de datos..... | 25 |
| 2.2.1.2.1.1.8. Planilla de resultados | 25 |
| 2.2.1.2.1.1.9. Preguntas de repaso..... | 25 |
| 2.2.1.2.1.1.10. Mejorando la información..... | 26 |
| 3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN..... | 29 |
| 3.1. Aplicación y validación de las prácticas..... | 29 |
| 3.2. Vertedero de pared delgada (semicircular) | 29 |
| 3.3. Vertedero de pared gruesa (triangular) | 252 |
| 3.4. Análisis de los resultados | 314 |
| 3.4.1. Resultados de vertedero de pared delgada perfil semicircular..... | 314 |
| a) Comparación entre tanque y caudalímetro | 315 |
| b) Comparación entre fórmulas teóricas y caudalímetro | 316 |
| c) Comparación entre caudales calibrados y caudalímetro | 317 |
| 3.4.2. Resultados de vertedero de pared gruesa cresta triangular | 318 |
| Comparación entre ecuaciones teóricas y caudalímetro | 319 |
| CONCLUSIONES | 320 |
| RECOMENDACIONES | 321 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 322 |
| ANEXOS | |
| Anexo 1. INFORME DE LABORATORIO (GUÍA Y NORMAS DE PRESENTACIÓN) | |
| Anexo 2. GUÍA RÁPIDA DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. | |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| FIGURA 2-1 | Terminología relativa al flujo de vertedero semicircular | 11 |
| FIGURA 2-2 | Vertedero semicircular | 13 |
| FIGURA 2-3 | Terminología del vertedero de pared gruesa triangular | 20 |
| FIGURA 2-4 | Tipos de perfil de vertederos de pared gruesa | 21 |

| | | |
|------------|--|-----|
| FIGURA 2-5 | Vertedero de pared gruesa tipo Triangular | 22 |
| FIGURA 3-1 | Gráfica de logaritmos de caudales y carga hidráulica | 244 |
| FIGURA 3-2 | Gráfica de Curva de calibración | 246 |
| FIGURA 3-3 | Gráfica de determinación del coeficiente de descarga | 248 |
| FIGURA 3-4 | Gráfica de determinación del coeficiente de descarga | 250 |
| FIGURA 3-5 | Grafica de comparación de caudales | 251 |
| FIGURA 3-6 | Gráfica de logaritmos de caudales y carga hidráulica | 310 |
| FIGURA 3-7 | Gráfica de curva de calibración..... | 311 |
| FIGURA 3-8 | Gráfica de determinación del coeficiente de descarga | 312 |
| FIGURA 3-9 | Gráfica de comparación de caudales | 313 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2-1. Valores ϕ en función de h/D , para vertederos circulares de pared delgada | 14 |
| Tabla 2-2 Datos de la práctica | 18 |
| Tabla 2-3 Datos de la práctica | 18 |
| Tabla 2-4 Resultados de la práctica | 19 |
| Tabla 2-5 Datos de la práctica | 27 |
| Tabla 2-6 Datos de la práctica | 27 |
| Tabla 2-7 Resultados del Vertedero Triangular | 28 |
| Tabla 3-1 Tiempos cronometrados en segundos para Q1 | 29 |
| Tabla 3-2 Datos de la práctica para el caudal 1 | 30 |
| Tabla 3-3 Obtención de la media y desviación | 31 |
| Tabla 3-4 Tiempos cronometrados en segundos para Q2 | 39 |
| Tabla 3-5 Datos de la práctica para el caudal 2 | 40 |
| Tabla 3-6 Obtención de la media y desviación | 40 |
| Tabla 3-7 Tiempos cronometrados en segundos para Q3 | 48 |
| Tabla 3-8 Datos de la práctica para el caudal 3 | 49 |
| Tabla 3-10 Tiempos cronometrados en segundos para Q4 | 58 |
| Tabla 3-11 Datos de la práctica para el caudal 4 | 58 |
| Tabla 3-12 Obtención de la media y desviación | 59 |
| Tabla 3-13 Tiempos cronometrados en segundos para Q5 | 65 |
| Tabla 3-14 Datos de la práctica para el caudal 5 | 65 |
| Tabla 3-15 Obtención de la media y desviación | 66 |
| Tabla 3-16 Tiempos cronometrados en segundos para Q6 | 72 |
| Tabla 3-17 Datos de la práctica para el caudal 6 | 72 |
| Tabla 3-18 Obtención de la media y desviación | 73 |
| Tabla 3-19 Tiempos cronometrados en segundos para Q7 | 79 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 3-20 Datos de la práctica para el caudal 7 | 79 |
| Tabla 3-21 Obtención de la media y desviación | 80 |
| Tabla 3-22 Tiempos cronometrados en segundos para Q8 | 86 |
| Tabla 3-23 Datos de la práctica para el caudal 8 | 86 |
| Tabla 3-24 Obtención de la media y desviación | 87 |
| Tabla 3-25 Tiempos cronometrados en segundos para Q9 | 93 |
| Tabla 3-26 Datos de la práctica para el caudal 9 | 93 |
| Tabla 3-27 Obtención de la media y desviación | 94 |
| Tabla 3-28 Tiempos cronometrados en segundos para Q10 | 100 |
| Tabla 3-29 Datos de la práctica para el caudal 10 | 100 |
| Tabla 3-30 Obtención de la media y desviación | 101 |
| Tabla 3-31 Tiempos cronometrados en segundos para Q11 | 107 |
| Tabla 3-32 Datos de la práctica para el caudal 11 | 107 |
| Tabla 3-33 Obtención de la media y desviación | 108 |
| Tabla 3-34 Tiempos cronometrados en segundos para Q12 | 114 |
| Tabla 3-35 Datos de la práctica para el caudal 12 | 114 |
| Tabla 3-36 Obtención de la media y desviación | 115 |
| Tabla 3-37 Tiempos cronometrados en segundos para Q13 | 121 |
| Tabla 3-38 Datos de la práctica para el caudal 13 | 121 |
| Tabla 3-39 Obtención de la media y desviación | 122 |
| Tabla 3-40 Tiempos cronometrados en segundos para Q14 | 128 |
| Tabla 3-41 Datos de la práctica para el caudal 14 | 128 |
| Tabla 3-42 Obtención de la media y desviación | 129 |
| Tabla 3-43 Tiempos cronometrados en segundos para Q15 | 135 |
| Tabla 3-44 Datos de la práctica para el caudal 15 | 135 |
| Tabla 3-45 Obtención de la media y desviación | 136 |
| Tabla 3-46 Tiempos cronometrados en segundos para Q16 | 142 |
| Tabla 3-47 Datos de la práctica para el caudal 16 | 142 |
| Tabla 3-48 Obtención de la media y desviación | 143 |
| Tabla 3-49 Tiempos cronometrados en segundos para Q17 | 148 |
| Tabla 3-50 Datos de la práctica para el caudal 17 | 149 |
| Tabla 3-51 Obtención de la media y desviación | 149 |
| Tabla 3-52 Tiempos cronometrados en segundos para Q18 | 155 |
| Tabla 3-53 Datos de la práctica para el caudal 18 | 155 |
| Tabla 3-54 Obtención de la media y desviación | 156 |
| Tabla 3-55 Tiempos cronometrados en segundos para Q19 | 161 |
| Tabla 3-56 Datos de la práctica para el caudal 19 | 162 |
| Tabla 3-57 Obtención de la media y desviación | 162 |
| Tabla 3-58 Tiempos cronometrados en segundos para Q20 | 168 |
| Tabla 3-59 Datos de la práctica para el caudal 20 | 168 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-60 Obtención de la media y desviación | 169 |
| Tabla 3-61 Tiempos cronometrados en segundos para Q21 | 174 |
| Tabla 3-62 Datos de la práctica para el caudal 21 | 175 |
| Tabla 3-63 Obtención de la media y desviación | 175 |
| Tabla 3-64 Tiempos cronometrados en segundos para Q22 | 181 |
| Tabla 3-65 Datos de la práctica para el caudal 22 | 181 |
| Tabla 3-66 Obtención de la media y desviación | 182 |
| Tabla 3-67 Tiempos cronometrados en segundos para Q23 | 187 |
| Tabla 3-68 Datos de la práctica para el caudal 23 | 188 |
| Tabla 3-69 Obtención de la media y desviación | 188 |
| Tabla 3-70 Tiempos cronometrados en segundos para Q24 | 194 |
| Tabla 3-71 Datos de la práctica para el caudal 24 | 194 |
| Tabla 3-72 Obtención de la media y desviación | 195 |
| Tabla 3-73 Tiempos cronometrados en segundos para Q25 | 201 |
| Tabla 3-74 Datos de la práctica para el caudal 25 | 201 |
| Tabla 3-75 Obtención de la media y desviación | 202 |
| Tabla 3-76 Tiempos cronometrados en segundos para Q26 | 208 |
| Tabla 3-77 Datos de la práctica para el caudal 26 | 208 |
| Tabla 3-78 Obtención de la media y desviación | 209 |
| Tabla 3-79 Tiempos cronometrados en segundos para Q27 | 215 |
| Tabla 3-80 Datos de la práctica para el caudal 27 | 215 |
| Tabla 3-81 Obtención de la media y desviación | 216 |
| Tabla 3-82 Tiempos cronometrados en segundos para Q28 | 221 |
| Tabla 3-83 Datos de la práctica para el caudal 28 | 222 |
| Tabla 3-84 Obtención de la media y desviación | 222 |
| Tabla 3-85 Tiempos cronometrados en segundos para Q29 | 228 |
| Tabla 3-86 Datos de la práctica para el caudal 29 | 228 |
| Tabla 3-87 Obtención de la media y desviación | 229 |
| Tabla 3-88 Tiempos cronometrados en segundos para Q30 | 235 |
| Tabla 3-89 Datos de la práctica para el caudal 30 | 235 |
| Tabla 3-90 Obtención de la media y desviación | 236 |
| Tabla 3-91 Caudales y altura de carga..... | 241 |
| Tabla 3-92 Logaritmos de caudales y alturas de carga | 243 |
| Tabla 3-93 Caudales generados con la ecuación de calibración | 245 |
| Tabla 3-94 Caudal experimental y teórico 1 | 247 |
| Tabla 3-95 Caudal experimental y teórico 2 | 249 |
| Tabla 3-96 Comparación de caudales | 250 |
| Tabla 3-97 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 1 | 252 |
| Tabla 3-98 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 1 | 254 |
| Tabla 3-99 Resultados del caudal 1 | 255 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-100 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 2 | 256 |
| Tabla 3-101 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 2 | 258 |
| Tabla 3-102 Resultados del caudal 2 | 259 |
| Tabla 3-103 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 3 | 260 |
| Tabla 3-104 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 3 | 262 |
| Tabla 3-105 Resultados del caudal 3 | 263 |
| Tabla 3-106 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 4 | 263 |
| Tabla 3-107 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 4 | 265 |
| Tabla 3-108 Resultados del caudal 4 | 267 |
| Tabla 3-109 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 5 | 267 |
| Tabla 3-110 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 5 | 269 |
| Tabla 3-111 Resultados del caudal 5 | 270 |
| Tabla 3-112 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 6 | 271 |
| Tabla 3-113 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 6 | 273 |
| Tabla 3-114 Resultados del caudal 6 | 274 |
| Tabla 3-115 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 7 | 275 |
| Tabla 3-116 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 7 | 277 |
| Tabla 3-117 Resultados del caudal 7 | 278 |
| Tabla 3-118 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 8 | 279 |
| Tabla 3-119 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 8 | 281 |
| Tabla 3-120 Resultados del caudal 8 | 282 |
| Tabla 3-121 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 9 | 283 |
| Tabla 3-122 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 9 | 285 |
| Tabla 3-123 Resultados del caudal 9 | 286 |
| Tabla 3-124 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 10 | 287 |
| Tabla 3-125 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 10 | 289 |
| Tabla 3-126 Resultados del caudal 10 | 290 |
| Tabla 3-127 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 11 | 291 |
| Tabla 3-128 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 11 | 293 |
| Tabla 3-129 Resultados del caudal 11 | 295 |
| Tabla 3-130 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 12 | 295 |
| Tabla 3-131 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 12 | 297 |
| Tabla 3-132 Resultados del caudal 12 | 299 |
| Tabla 3-133 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 13 | 299 |
| Tabla 3-134 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 13 | 301 |
| Tabla 3-135 Resultados del caudal 13 | 303 |
| Tabla 3-136 Datos obtenidos en la práctica para el caudal 14 | 303 |
| Tabla 3-137 Cálculos de aproximaciones sucesivas para Q y H1 del caudal 14 | 305 |
| Tabla 3-138 Resultados del caudal 14 | 308 |
| Tabla 3-139 Caudales y altura de carga | 308 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-140 Logaritmos de caudales y alturas de carga | 309 |
| Tabla 3-141 Caudales generados con la ecuación de calibración..... | 310 |
| Tabla 3-142 Caudal del caudalímetro y teórico..... | 312 |
| Tabla 3-143 Comparación de caudales..... | 323 |