



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DISEÑO DE VERTEDEROS HIDRÁULICOS TRIANGULARES, RECTANGULARES Y COMBINADOS EN EL ENTORNO RURAL DEL SECTOR QUIVES, KM 40 LIMA – CANTA, AÑO 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autora:

Milagros Hellen Leño Paucar

Asesor:

Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios Jehová.

Por haberme dado la vida, eres el creador de todo, a ti te debo todo lo que soy, eres la esencia misma del infinito propio de todo lo bueno y todo lo justo, el Alfa y la Omega; gracias por haberme dado a mi madre Elvia que siempre me apoyó y está en todo momento a lo largo de mi vida, a mi papá, a mi hermana Angie, abuelitos y a toda mi familia; y por haberme dado muchas fuerzas para seguir adelante y no dejarme vencer por las adversidades de la vida durante mi etapa Universitaria y a lo largo de mi vida, y así poder haber logrado culminar mi carrera para un futuro profesional, que es tan importante para mí, gracias a Jesús y a mi Padre celestial por todo.

AGRADECIMIENTO

- Agradezco a la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos, por haberme brindado la asesoría y préstamos del laboratorio, para realizar mi tesis.
- Agradezco al Ing. José Mendoza por su asesoramiento y haberme brindado su apoyo y sus conocimientos en la especialidad de Hidráulica.
- Agradezco al Ing. Jorge Canta por su asesoramiento y haberme brindado su apoyo y sus conocimientos en la parte científica.

INDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	14
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	17
1.1.- Realidad problemática.....	17
1.2.- ANTECEDENTES	25
1.3.- BASES TEÓRICAS.....	52
1.3.1.- Definición de vertedero.....	52
1.3.2.- Diseño de vertederos rectangulares	53
1.3.3.- Diseño de vertederos hidráulicos triangulares	54
1.3.4.-Indicadores.....	56
1.3.6.- Equipos e instrumentos.....	59
1.4.- Formulación del problema	63
1.5.- Objetivos	63
1.5.1.- Objetivo general	63
1.5.2.- Objetivos específicos.....	63
1.8 Hipótesis	64
1.8.1.- Hipótesis general	64
CAPITULO II. METODOLOGÍA	65
2.1.- Tipo de investigación	65
2.1.1.- Por el propósito: Aplicada.....	65
2.1.2 Según el diseño de investigación: No experimental.....	65
2.2. Diseño de investigación.....	66

2.2.1.- Diseño No experimental – descriptivo.....	66
2.2.2.- Diseño No experimental – Transversal.....	66
2.3.- Variables.....	68
2.3.1.- Variable: Diseño de vertederos hidráulicos.....	68
2.3.2.- Clasificación de variables.....	69
2.3.3. Operacionalización de variables.....	70
2.4 Población, muestra y materiales.....	71
2.4.1 Población	71
2.4.2 Muestra	71
2.4.3.- Materiales.....	71
2.5.- Técnicas e instrumentación de recolección y análisis de datos	72
2.5.1 Técnica de recolección de datos.....	72
2.5.2. Instrumento de recolección de datos.....	72
2.5.3.- Validación del instrumento de recolección de datos.....	73
2.5.4.- Análisis de datos.....	73
2.6. Procedimiento	74
2.6.1.- Cuadro sinóptico.....	74
2.6.2.- Dimensiones.....	76
2.7- Desarrollo de tesis.....	86
2.7.1.- Proceso de calibración en el canal de pendiente, respecto a su caudal teórico.....	87
2.7.2.- Proceso de calibración en el canal de pendiente variable, respecto a su coeficiente de descarga.....	144
2.7.3.- Se aplicó el vertedero hidráulico combinado 90° en el Entorno rural del sector Quives, km 40 Lima-Canta.....	165
CAPITULO III: RESULTADOS.....	170
3.1.- Caudal teórico y coeficientes de descarga del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.....	170
3.1.1.- Caudal real (Q_{rp}^*) en el canal de pendiente variable.....	170
3.1.2.- Caudales teóricos de los vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60 y 90°, con sus respectivas cargas de fluido aguas arriba.....	171

3.2.- Coeficientes de descarga de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°.....	178
3.2.1.- Caudal real (Q_{rp}^*) y coeficientes de descarga (CD).....	178
3.2.2.- Temperatura.....	188
3.3.- Aplicar el vertedero combinado 90° de material de madera en el canal de riego Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta.....	188
3.3.1.-Caudal real por el Método Volumétrico.....	188
3.3.2.- Calculo del caudal teórico.....	188
3.3.3.- Coeficiente de descarga.....	189
CAPITULO VI : DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	190
6.1.- DISCUSIÓN.....	190
6.2.- CONCLUSION.....	202
REFERENCIAS.....	204
ANEXOS.....	211

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Indicadores de la dimensión 1.....	56
Tabla 2: Indicadores de la dimensión 2.....	57
Tabla 3: Indicadores de la dimensión 3.....	58
Tabla 4: Instrumentos para medir la dimensión 1.....	60
Tabla 5: Instrumentos para medir la dimensión 2.....	61
Tabla 6: Instrumentos para medir la dimensión 3.....	62
Tabla 7: Esquema de diseño transversal.....	67
Tabla 8: Matriz de clasificación de variables.....	69
Tabla 9: Matriz de operacionalización de variables.....	70
Tabla 10: Matriz de materiales.....	71
Tabla 11: Tabla de recolección de datos.....	72
Tabla 12: Datos de ubicación de la universidad Privada del Norte.....	87
Tabla 13: Caudales teóricos del vertedero rectangular en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte- Los Olivos.....	101
Tabla 14: Caudales teóricos del vertedero triangular 15° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	104
Tabla 15: Caudales teóricos del vertedero triangular 45° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	108
Tabla 16: Caudales teóricos del vertedero triangular 60° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	112

Tabla 17: Caudales teóricos del vertedero triangular 90° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	115
Tabla 18: Caudales teóricos del vertedero combinado 15° (CASO 2) en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	126
Tabla 19: Caudales teóricos del vertedero combinado 45° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	129
Tabla 20: Caudales teóricos del vertedero combinado 45° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	132
Tabla 21: Caudales teóricos del vertedero combinado 60° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	135
Tabla 22: Caudales teóricos del vertedero combinado 60° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	138
Tabla 23: Caudales teóricos del vertedero combinado 90° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	141
Tabla 24: Caudales teóricos del vertedero combinado 90° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	143
Tabla 25: Coeficientes de descarga del vertedero rectangular, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	145
Tabla 26: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 15°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	148
Tabla 27: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 45°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	151
Tabla 28: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 60°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	153
Tabla 29: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	156
Tabla 30: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 15°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	158

Tabla 31: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 45° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	159
Tabla 32: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 45° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	160
Tabla 33: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 60° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	161
Tabla 34: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 60° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	162
Tabla 35: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 90° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	163
Tabla 36: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 90° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos	164
Tabla 37: Datos de ubicación del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta , año 2021.....	165
Tabla 38: Caudal real en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del norte sede Los Olivos.....	170
Tabla 39: Caudales teóricos de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del norte sede Los Olivos.....	177
Tabla 40: Coeficientes de descarga de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del norte sede Los Olivos.....	183

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivo experimental.....	26
Figura 2: Vertedero triangular.....	29
Figura 3: Vertedero trapezoidal.....	30
Figura 4: Vertedero rectangular.....	30
Figura 5: Vista aérea del canal en las instalaciones de la UTMACH.....	33
Figura 6: Características del vertedero triangular de pared delgada.....	37
Figura 7: Características del vertedero rectangular de pared delgada.	38
Figura 8: Coeficientes de descarga de aliviaderos ajustado a la lámina vertiente (Perfil Creager).....	39
Figura 9: Flujo ideal sobre un vertedero de pared delgada.....	44
Figura 10: Realización de ensayos.....	45
Figura 11: Tipos de vertederos.....	48
Figura 12: Comparación entre coeficientes de descarga hidráulica.	49
Figura 13: Flujo a través de vertedero rectangular de pared delgada.....	53
Figura 14: Flujo a través de un vertedero triangular.....	54
Figura 15 : Diagrama de diseño de investigación.....	68
Figura 16: Cuadro sinóptico.....	74
Figura 17: Vertedero de pared delgada.....	77
Figura 18: Tipos de vertederos según el espesor de la pared.....	77
Figura 19: Diferentes vertederos con contracciones laterales.....	78
Figura 20: Vertedor de pared delgada de forma general.....	79
Figura 21 : Flujo a través de un vertedero rectangular de pared delgada.....	80
Figura 22: Vertedero triangular de pared delgada.....	83

Figura 23: Mapa de la ubicación del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.....	87
Figura 24: Fabricación del lavatorio receptor.....	89
Figura 25: Calibración de volúmenes en el contenedor de almacenamiento de agua de 75 L con una probeta graduada.....	90
Figura 26: Calibración de volúmenes en el contenedor de almacenamiento de agua de 75L con una probeta graduada (toma cerca)	90
Figura 27: Parte final del Tubo de conexión PVC de 6”.....	91
Figura 28: Vertedero triangular metálico 53°08’, en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.....	92
Figura 29: Medidor de caudales en el laboratorio de hidráulica de al Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.....	93
Figura 30: Piezómetro en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.....	94
Figura 31: Caudal real calibrado (Qrp) vs altura de vertedero triangular metálico 53°08’ (h*).....	94
Figura 32: Vertederos de material acrílico.....	95
Figura 33: Distancia limnimétrica a 10cm del vertedero.....	96
Figura 34: Recolección de datos en el ficha de registro de observación, anexo 4.....	97
Figura 35: Vertedero rectangular.....	98
Figura 36: Vertedero triangular 15°.....	102
Figura 37: Vertedero triangular 45°.....	105
Figura 38: Vertedero triangular 60°.....	109
Figura 39: Vertedero triangular 90°.....	113
Figura 40: Flujo a través de un vertedero combinado.....	116
Figura 41: Vertedero combinado, CASO 1.....	117
Figura 42: Vertedero combinado, CASO 2.....	120

Figura 43: Vertedero combinado 15°.....	123
Figura 44: Vertedero combinado 45°.....	127
Figura 45: Vertedero combinado 60°.....	133
Figura 46: Vertedero combinado 90°.....	139
Figura 47: Caudal real con HCANALES para el vertedero rectangular.....	147
Figura 48: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 15°.....	149
Figura 49: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 45°.....	152
Figura 50: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 60°.....	154
Figura 51: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 90°.....	157
Figura 52: Mapa de la laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte.....	165
Figura 53: Medición de las dimensiones del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40, Lima – Canta, año 2021.....	166
Figura 54: Colocación del vertedero combinado 90° de material de madera del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40, Lima – Canta, año 2021.....	167
Figura 55: Método volumétrico en el vertedero combinado 90° de material de madera.....	168
Figura 56: Carga del fluido, aguas arriba, en la cara del vertedero combinado 90° de material de madera.....	168
Figura 57: Distancia “d” a 5k de la cara del vertedero combinado 90° de material de madera.....	169
Figura 58: Carga total del vertedero combinado 90° de material de madera.....	169
Figura 59: Caudal real (Q_{rp}^*) vs pendiente(s), en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede Los Olivos.....	171
Figura 60: Coeficiente de descarga (C_d) del Ensayo I , para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	184
Figura 61: Coeficiente de descarga (C_d) del Ensayo II, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	184

Figura 62: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo III, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	185
Figura 63: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo IV, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	185
Figura 64: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo V, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	186
Figura 65: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VI, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	186
Figura 66: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VII, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	187
Figura 67: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VIII, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.....	187

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula de Bazin y Frese.....	22
Ecuación 2: Fórmula general del gasto total.....	79
Ecuación 3: Ecuación general del Caudal teórico de un vertedero rectangular sin contracciones laterales.....	81
Ecuación 4: Ecuación general del Caudal real de un vertedero rectangular.....	81
Ecuación 5: Disminución por contracciones laterales.....	82
Ecuación 6: Caudal real del vertedero rectangular con contracciones laterales.....	82
Ecuación 7: Caudal teórico del vertedero triangular.....	84
Ecuación 8: Caudal real del vertedero triangular.....	85
Ecuación 9: Fórmula de coeficiente de descarga.....	85
Ecuación 10 : Ecuación general del caudal real en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte.....	95
Ecuación 11: Caudal teórico general del vertedero combinada hasta la zona triangular.....	119
Ecuación 12: Caudal teórico general del vertedero combinado, hasta la zona rectangular.....	122
Ecuación 13: Coeficiente de descarga de un vertedero rectangular en el software HCANALES...146	
Ecuación 14: Caudal real de un vertedero rectangular con el software HCANALES.....	146
Ecuación 15: Coeficiente de descarga de un vertedero triangular con el software HCANALES....	148
Ecuación 16: Caudal real de un vertedero triangular con el software HCANALES.....	149

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general realizar el diseño de Vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima-Canta, año 2021. Se realizó un diseño No experimental, descriptivo y transversal, la muestra fue canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta, la recolección de datos se realizó con la técnica de observación, los instrumentos utilizados fueron guía y ficha de registro de observación, para analizar los datos se utilizó la estadística descriptiva, el problema era saber cual es el diseño de vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados en el canal de riego del Entorno rural, donde se dedujo anteriormente en los ensayos de laboratorio de hidráulica que el vertedero combinado 90° de material acrílico tuvo mayor coeficiente de descarga a comparación del resto de vertederos para caudales mayores al ensayo VI , lo cual generó menor pérdida de energía es por eso que fue seleccionado para aplicar en el canal de riego, insitu obteniendo un coeficiente de descarga de 0.4526 , eso significa que existieron diversos factores tanto del vertedero como del canal de riego que influyeron en el coeficiente de descarga.

Palabras clave: Diseño de vertederos, vertederos hidráulicos, vertederos triangulares, vertedero rectangular, vertederos combinados y Entorno rural.

ABSTRACT

The general objective of the present research was to carry out the design of triangular, rectangular and combined hydraulic landfills in the rural environment of the Quives sector, Km 40 Lima-Canta, year 2021. A non-experimental, descriptive and cross-sectional design was carried out, the sample was canal irrigation in the rural environment of the Quives sector, km. 40 Lima - Canta, data collection was carried out with the observation technique, the instrument used was the observation record sheet, descriptive statistics were used to analyze the data, the problem was to know what is the design of triangular hydraulic spillways , rectangular and combined to apply in the irrigation canal Rural environment of the Quives sector, where it was previously deduced in the hydraulics laboratory tests that the combined 90 ° acrylic material spillway had a higher discharge coefficient compared to the rest of the spillways for flows higher than the VI test, which generated less energy loss that is why it was selected to apply in the irrigation canal, insitu obtaining a discharge coefficient of 0.4526, that means that there were various factors of both the landfill and the irrigation canal that influenced in the discharge coefficient.

Keywords: Design of landfills, Hydraulic weirs, Triangular weirs, Rectangular weir, Combined landfills and Rural environment.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.- Realidad problemática

Es importante señalar que, a lo largo de la historia, el hombre ha intentado solucionar diferentes tipos de problemas que las sociedades han demandado, siendo el traslado y control del caudal del “agua”. Así mismo (Jimenez, 2017, pág. 1), afirma que, en Israel, un país ubicado en una región árida – semiárida, donde se han invertido grandes esfuerzos en la investigación hacia el desarrollo de tecnologías que aseguran un buen uso y manejo eficiente de sus escasos recursos hídricos. La integración de sistemas de riego a presión ya en la década de los 50', (Mashav, 2015). Por otro lado (Córdova, 2013, pág. 22), asegura que en la ciudad de Guayaquil, se diseñó e implementó un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio, dada la necesidad de la agricultura y sobre todo para lugares donde se necesita un riego constante y controlado para que los cultivos de ese lugar no se dañen, teniendo un impacto positivo en los pobladores donde quedaron satisfechos con el desarrollo de este sistema que beneficia directamente a este sector, lo cual ha inducido un cambio fundamental en las prácticas agrícolas tradicionales impulsando para bien, el desarrollo de una agricultura moderna y de alta productividad. Un aspecto prioritario para la subsistencia de todas las personas y desarrollo de las mismas. En épocas pasadas los primeros ingenieros encontraron la forma de trasladar el agua cerca a los sembríos y así solucionar el un problema relevante, la escasez de agua para el riego de cultivos, y de este modo lograr alcanzar las utilidades que esta nos proporciona. En el contexto de la funcionalidad de los canales, se ha buscado ahorrar el uso del agua, dentro de dichas

alternativas se tiene, por ejemplo, evacuar el exceso de agua originado por las lluvias (canaletas), ya que los vertederos se utilizan para direccionar flujos.

Dentro de las consideraciones para mitigar deficiencias que se presentan en el diseño de estructuras hidráulicas, en el trabajo de investigación de (Lopez, A., 2013, pág. 19) se menciona que las bases para el diseño hidráulico de una estructura de salida del desarenador (vertedero) y canal de recolección, se deben caracterizar por el desvío parcial del agua del río mediante una toma, y a través de canales que se transporta el agua hasta el tanque de carga. Asimismo, (Lopez, A., 2013, pág. 14) señala que las obras de captación deben considerar adicionalmente un diseño del vertedero laberinto, con la característica de la forma del vertedero, que se parece a un zig-zag; cuyo propósito es incrementar la capacidad útil del embalse. Del mismo modo el autor, manifiesta que el vertedero laberinto se utiliza cuando se necesita tener una mayor capacidad de flujo, obteniéndolo mediante la longitud total del vertedero, el cual depende del caudal de captación, y altura de agua en el vertedero.

Por otro lado, la incidencia de excesos de volúmenes de agua en los canales son un factor relevante en el diseño de los vertederos, los cuales son elementos complejos, cuya importancia la destaca (Huilca, D., 2013, pág. 1) el estudio experimental sobre el Flujo en los Vertederos de excesos y desagües de Fondo de la Presa Toachi, aprovechamiento Hidroeléctrico Toachi – Pilatón, siendo la necesidad de estudios realizados con el comportamiento del flujo sobre los vertederos de excesos de agua y diseño geométrico de los mismos, en el modelo físico de la presa Toachi, que aprovecha las aguas de las cuencas de los ríos Toachi y Pilatón, para el desarrollo del proyecto se

evaluaron los vertederos de excesos y así se observa la factibilidad de la nueva geometría de los vertederos de excesos y desagües de fondo.

Otro factor a considerar son las deficiencias en los controles de niveles, ya que de acuerdo a lo expresado por (Huilca, D., 2013, pág. 16), los vertederos son elementos complejos e importantes, los mismos que se utilizan en los sistemas de distribución de agua, en saneamiento, y en sistemas de evacuación de aguas residuales y en sistemas de control de aguas pluviales que facilitan controlar el nivel en embalses, canales y depósitos, también permiten derivar caudales y elevar el nivel de agua. Asimismo, (Huilca, D., 2013, pág. 25) concluye que el chorro proveniente del flujo en vertederos y desagües debe cumplir con la condición de disipar energía. Por otro lado, el autor señala que hay que destacar que el flujo en canales abiertos sirve para contrarrestar el problema de la crisis energética mundial.

No se desarrolla el control con indicadores asociados a la medición del desperdicio del agua, para ello (Quiliche, J., 2015, pág. 2) en su estudio plantea los **Coefficientes de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la UPN de Cajamarca, 2015, aplicado a una** presa de tierra de tipo terraplén con una altura máxima de 48 m para un embalse de 1,000 MMC de capacidad. Para ello, (Quiliche, J., 2015, pág. 2) sostiene que la medición del agua tiene una utilidad muy importante, ya que soluciona muchos problemas como el desperdicio de agua en las obras hidráulicas, siendo fundamental el control de nivel del agua y la regulación de descargas para transportar agua, conservación del agua, prevención y control de avenidas, navegación interior.

Otro factor que índice en el diseño de vertederos, está asociada a la presentación de cambios en la morfología y climatología de las zonas de vertederos, los cuales son planteados en el estudio sobre la utilización de vertederos realizado por (Reyes, D.; Roldan, O., 2018, pág. 3) los cuales manifiestan que debido a los cambios climáticos muchas presas en están sujetas a una constante modificación en la mecánica del flujo inicial a lo largo de los últimos años, en ese sentido, el aumento del volumen de descarga y almacenamiento, donde destaca que la sedimentación es un problema importante, debiendo destacar la modificación de los mecanismos de control de la presa para mantener el volumen de almacenamiento sin alterar otros elementos de gran escala. Lo descrito permite aumentar la longitud efectiva de descarga en los vertederos de los embalses, dicho de otra manera, (Reyes, D.; Roldan, O., 2018, pág. 3) en su estudio de la disipación de energía generada por cuatro vertederos tipo laberinto y un vertedero tipo rectangular en un canal de pendiente variable, muestran la gran precedencia del uso de los vertederos del tipo laberinto.

Respecto a las fallas en la operación de los aliviaderos, se analiza el comportamiento Hidráulico del coeficiente de descarga de vertederos de Flujo Libre, para ello (Salcedo , 2017, pág. 3) argumenta las fallas de los aliviaderos de las represas, las mismas que no se originan por la baja resistencia del concreto, ya que deben soportar la corrosión y erosión ocasionadas por el flujo del agua, ya que muchas veces se omite ciertos parámetros como la presión atmosférica. Así mismo (Salcedo , 2017, pág. 3) analizó las investigaciones referidas a vertederos rectangulares de placa delgada, basado en el análisis teórico de Boussinesq, para la predicción del coeficiente de descarga, así como la elevación máxima de la trayectoria más baja del perfil que describe el flujo. Del mismo

modo, el objetivo principal para (Salcedo , 2017, pág. 1) esta referido a evaluar el comportamiento hidráulico del coeficiente de descarga de un canal de pendiente variable. Es preciso señalar que las causas y los efectos de un deficiente comportamiento de los vertederos se basan el siguiente **Anexo 1**.

En la presente investigación se ha analizado a detalle la casuística relevante que origina el problema, en ese sentido se tiene:

Primera causa: **Variaciones Geométricas**, una de las causas de las deficiencias del comportamiento de los vertederos es la Variación Geométrica, lo cual es afirmado por (Valero & Mendoza, 2015, pág. 118) que describe diez inclinaciones simétricas de las paredes laterales de un vertedero de sección trapezoidal, dentro de un intervalo entre 45° y 90° ; dentro del cual se analiza la alteración de un caudal frente a cambios angulares de cinco grados. Asimismo, el autor para su análisis construyó 10 modelos físicos reducidos y ajustados, cada modelo fue analizado con diferentes descargas, es decir se observó el comportamiento del flujo frente a calados dentro de un intervalo de uno a siete centímetros, contemplándose la alteración que sufre el caudal de descarga a medida que se incrementa el nivel del agua, cada centímetro. Asimismo, (Valero & Mendoza, 2015, pág. 40) manifiestan que la variación de calados producirá un comportamiento diferente en el flujo, debido a un efecto denominado contracción lateral. Es preciso señalar que (Valero & Mendoza, 2015, pág. 47) , manifiesta que el efecto de la variación geométrica es la alteración de los caudales.

Segunda causal: **Contracciones Laterales** que experimenta el flujo, son las responsables de que, según lo observado, el área en la sección de descarga sufra un efecto

de reducción y que, aunque esto incrementa la velocidad media de descarga no retribuye o equilibra al cien por ciento, lo cual tienen como efecto la pérdida en el gasto de descarga.

Tercera causal: **Insuficiente Entrada de Aire bajo la Lámina de Agua**, una de las causas que origina el deterioro de los vertederos es la insuficiente entrada de aire bajo la lámina de agua, la misma que afecta la zona por el flujo que genera el canal, información que es ratificado por (Marbello, R., 2007, pág. 18), quien precisa que las fórmulas de Bazin y Frese conducen a valores demasiado grandes de caudal, a causa de una insuficiente entrada de aire bajo la lámina, lo cual crea una depresión en esta zona del vertedero, para ello Theodore Rehbock (1900) eliminó esta causa del error, luego de diversos análisis y mediante disposiciones adecuadas, con lo cual ha obtenido valores de Q más pequeños que los de Frese y Bazin, para valores de h entre 0.02 m y 0.18 m, aplicable a para vertederos rectangulares sin contracciones laterales, con Q(m³ /s), h(m), P(m), b(m).

$$Q = \left[\left(0.406 + \frac{0.002}{3h - 0.012} \right) \left(1 + 0.55 * \left(\left(\frac{h}{h + P} \right)^2 \right) \right) \right] bh \sqrt{2gh}$$

Ecuación 1: Fórmula de Bazin y Frese

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 18).

La incidencia de una insuficiente entrada de aire bajo la lámina de Agua desarrolla un efecto de depresiones en zonas del vertedero.

Cuarta causal: **Variaciones en la Presión de Agua**, otro factor que producen fallas en el comportamiento de los vertederos es la variación de presiones, en ese sentido

(Portillo L. , 2012, pág. 25) y teniendo en cuenta este comportamiento, debe deducirse los perfiles de la napa sobre un vertedero de cresta delgada, aplicando el principio del proyectil, el mismo que presenta con frecuencia una aireación insuficiente por debajo de la napa. Asimismo (Portillo L. , 2012, pág. 28) establece que se presenta una reducción de la presión por debajo de la napa, la misma genera por la remoción de aire por el chorro que cae. En ese sentido, el autor precisa que esta reducción de presión causará efectos no deseados, como incremento en los diferenciales de presiones sobre el vertedero; tal es así que, (Candelaria, 2018, pág. 14), precisa que el flujo aguas abajo de la estructura conocido también como vena líquida, el cual debería ser libre (no sumergido, para garantizar que la presión en la vena sea la atmosférica y actúe como un chorro libre).

Ante la problemática señalada, **la alternativa** que muestra el presente estudio se basa en el diseño de un tipo de vertedero en particular, como es el de una estructura combinada que contiene dos figuras unidas, triangular en la parte inferior (para caudales pequeños), y rectangular en la parte superior (para caudales grandes); ya que la cantidad de flujos en un canal de un río es impredecible, y depende de la época o temporada de un determinado lugar. Así mismo, (Walsh Perú , 2015, pág. 3), establece que la cuenca de escurrimiento del río Quimariato es de 49 km² y la longitud del cauce es de 42 Km con una pendiente general del cauce en este río es 0,218 m/m. El régimen hídrico de este río es permanente y presenta un caudal promedio anual de 760 l/s. Con variaciones en las épocas con presencia de mayores precipitaciones (enero a marzo) y caudales bajos en las épocas de menores precipitaciones (julio y agosto).

Asimismo, en esta presente investigación se busca desarrollar la aplicación del vertedero que conlleva a medir caudales pequeños y grandes en un entorno rural,

estableciendo la consistencia entre la compatibilidad de mediciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte -sede Los Olivos, en el canal denominado Canal de pendiente variable para luego aplicar en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km.40 Lima – Canta, año 2021.

En síntesis, a través de un exhaustivo análisis comparativo, el **propósito** es determinar un tipo de vertedero que sea útil para medir caudales de pequeña y gran magnitud; asimismo, se buscará verificar que para caudales elevados es sugerente utilizar los vertederos rectangulares, mientras que para caudales pequeños se buscará determinar si los vertederos tipo triangulares arrojan valores más exactos.

1.2.- ANTECEDENTES

Antecedente 1

“Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas CDF”

En la investigación de (Ngamaliu, 2015, pág. 74) para la obtención de título profesional denominada “Caracterización de Vertederos Hidráulicos mediante técnicas CFDEI” manifiesta que los vertederos que vienen a ser elementos complejos e importantes, los cuales utilizan los sistemas de distribución de agua en saneamiento, en sistemas de evacuación de aguas residuales y en sistemas de control de aguas pluviales con el fin de controlar el nivel en embalses, canales y depósitos, así mismo facilitan la derivación de caudales y elevan el nivel de agua, con la finalidad de cumplir la función de aliviaderos en una presa comportamiento de diferentes vertederos hidráulicos. Del mismo modo, los vertederos hidráulicos son de formas y de tamaños diversos según cita (Ngamaliu, 2015, pág. 17) , se tienen en la actualidad los vertederos de pared delgada y de pared gruesa, vertederos laterales, vertederos circulares, parabólicos, triangulares, rectangulares y trapezoidales. Podemos apreciar en las diferentes ciudades, que cada día es más frecuente la instalación de estos elementos complejos en los sistemas de presas permitiendo la distribución de agua de manera que se permitan controlar los caudales emitidos. (Ngamaliu, 2015, pág. 25) expresa que considerando los tipos de vertederos se cuenta con los vertederos rectangulares, los mismos que se reparten en dos grandes grupos, sin contracciones y con contracciones laterales, así mismo determina que los vertederos triangulares se usan para medir caudales pequeños, siendo estos muy sensibles a la rugosidad del medio característico y para cargas pequeñas también influyen la viscosidad y la capilaridad, siendo sus ventajas: (a) Permitir obtener alta precisión en la

medida de caudales pequeños. (b) Influenciar reducida de la altura del umbral y de la velocidad de llegada. (c) Analizar mediante técnicas CFD del comportamiento de diferentes vertederos de pared delgada. Por otro lado, en el proceso de la investigación (Ngamalieu, 2015, pág. 35) ha utilizado el software de CFD, así como el ANSYS R15.0 Academics, para modelar geometrías de vertedero de pared delgada, siendo elegidas: un vertedero triangular, un vertedero rectangular.



Figura 1: Dispositivo experimental.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Por otro lado, (Ngamalieu, 2015, pág. 37) durante el análisis de estudio expuso una **Metodología experimental**, cuyo procedimiento de operación lo aplicó de manera sencilla, de manera que toda persona que nunca ha manejado el dispositivo puede estar entrenado y hacer las medidas, contando con un dispositivo listo para funcionar, el mismo que permite registrar el nivel de agua dentro del canal en función del caudal de entrada.

Del mismo modo, se realizó un estudio teórico del comportamiento de diferentes vertederos hidráulicos a fin de conocer su caracterización matemática, para ello realizo un modelo de geometría computacional creado para estudiar las características de tres tipos de vertederos de pared delgada de forma: triangular, rectangular y combinado en la versión educacional del modelo ANSYS Fluent: ANSYS R15.0 Academic. Finalmente, *las conclusiones finales* del trabajo (Ngamalieu, 2015) se centran en, (a) la validación de las tecnologías basadas en la dinámica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD) como alternativa para caracterizar adecuadamente los vertederos hidráulicos. (b) Así también se concluye que la aplicación del estudio de la malla, la calibración del Solver, las ecuaciones RANS que describen el flujo del agua al interior del canal y los métodos de resolución de estas ecuaciones. (c) En definitiva, el método de fracción volumétrica de agua (Volume of Fraction, VOF) permite calcular la superficie libre del agua también ha sido detallado, logrando los resultados de la caracterización de cada tipo de vertedero: triangular, rectangular y trapezoidal. (d) Los modelos computacionales son una mejor alternativa a la utilización de dispositivos o modelos experimentales en laboratorios, debido a que estos permiten mitigar las limitaciones relacionadas con la construcción de laboratorios costosos y ahorrar grandes espacios y cantidades de agua y energía.

La presente investigación, nos induce a desarrollar la aplicación para vertederos combinados, para controlar o medir el nivel del fluido en el canal, el cual es el mismo que se encuentra formado por un triangular y un rectangular que pueden ser de tipos y/o dimensiones diferentes, como el vertedero trapezoidal, el cual compensa el decrecimiento

del caudal, debido a las contracciones laterales por medio de las partes triangulares del vertedero, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos.

Antecedente 2

Medición simultánea de caudales utilizando vertederos de pared delgada con formas rectangular, triangular, circular y trapezoidal.

Baso en el recurso hídrico en Guatemala, que es cada vez se hace más escaso, esta situación en la ciudad impulsa a tener un manejo y administración más eficiente, que permita un aprovechamiento más eficiente, ante ello se presentó el estudio de (Lopez P. , 2018, pág. 27), Medición Simultánea de Caudales utilizando vertederos de pared delgada con formas Rectangular, Triangular, Circular y Trapezoidal, en Guatemala, enfocado a tierras principalmente agrícolas y para los sistemas de riego que tienen canales y no solamente de uso agrícola como, el consumo humano, generación de energía eléctrica, consumo animal, uso industrial, entre otros. A fin de controlar el caudal que se transporta en cada canal en un sistema de conducción y distribución de agua por medio de medidores, aplicando vertederos de pared delgada, En ese sentido, en la aplicación de la ingeniería hidráulica (Lopez P. , 2018, pág. 23) manifiesta que la conducción del agua por medio de un sistema de canales abiertos para sus múltiples usos, es importante que se determine el caudal que cada canal conduce y su uso, para ello se ha dispuesto el uso de medidores de tipo vertedero, la medición de un caudal constante haciendo uso de cuatro vertederos de las formas rectangular, circular, triangular y trapezoidal. Así mismo el autor define a los vertederos como estructuras que tienen aplicación muy extendida en sistemas hidráulicos que conducen agua por medio de canales abiertos, los mismos que usan el control del nivel

del espejo de agua y la medición del caudal. Es de acuerdo así que (Lopez P. , 2018, pág. 10) presenta al vertedero triangular, el cual es preferido cuando las descargas son pequeñas, porque la sección transversal de la lámina vertiente muestra de manera notoria la variación en altura.

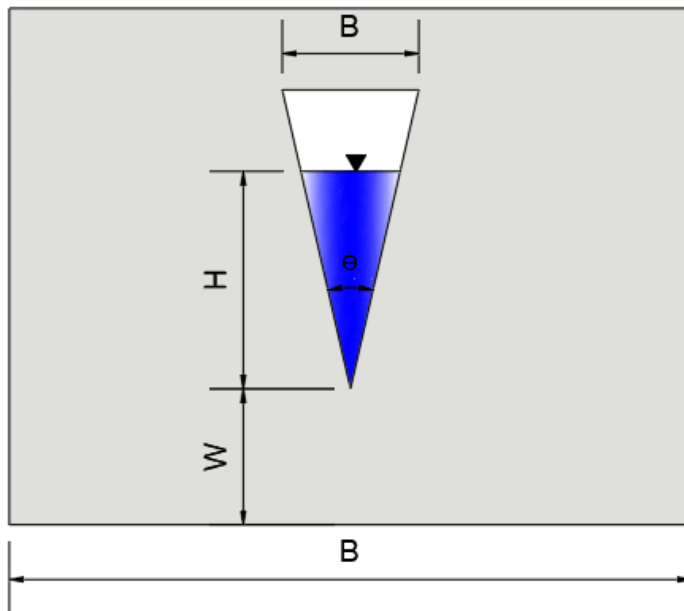


Figura 2: Vertedero triangular

Fuente: Elaboración propia empleando AutoCAD - López P. 2018.

Del mismo modo (Lopez P. , 2018, pág. 11), indica que el vertedero trapezoidal combina una abertura rectangular con una triangular, en su abertura, tal como lo indica su nombre, es conocido como vertedero Cipolletti, en honor a su inventor, el ingeniero italiano Cesare Cipolletti. Es preciso señalar que esta estructura requiere que la relación de taludes sea de 1:4.

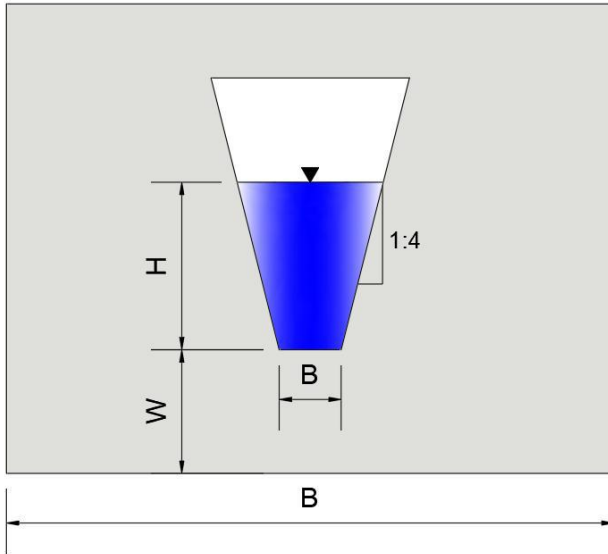


Figura 3: Vertedero trapecoidal.

Fuente: Elaboración propia empleando AutoCAD - López P. 2018.

Asimismo, (Lopez P. , 2018, pág. 13), da a conocer al Vertedero rectangular como uno de los más sencillos para construir y por este motivo es justamente uno de los más usados, recomendando la medición de caudales desde moderados hasta grandes.

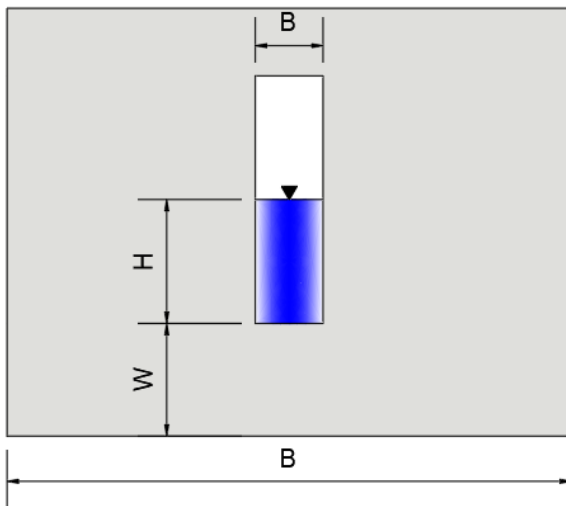


Figura 4: Vertedero rectangular

Fuente: Elaboración propia empleando AutoCAD - López P. 2018.

Recogiendo lo más importante (Lopez P. , 2018, pág. 27) informa que en su estudio se dispuso de cuatro vertederos de pared delgada, con formas, rectangular, triangular, circular y trapezoidal; así mismo se proveyó al laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de una herramienta de experimentación para medición simultanea de un caudal en común con los cuatro vertederos, lo cual permitió visualizar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así mismo como su precisión y sensibilidad en la medición de caudales, en vista a la información obtenida, se propuso construir un aparato en forma simultánea que muestre y compare el funcionamiento hidráulico de los cuatro vertederos, además de medir directamente el mismo caudal de agua con cada forma geométrica, solucionando el problema de que únicamente se experimente con un solo vertedero. Asimismo, (Lopez P. , 2018, pág. 100) propuso como procedimiento, a través del uso del procedimiento de calibración por el método de la correlación lineal, también con la aplicación de logaritmos y determinando los parámetros de la ecuación potencial que define el caudal a través de un vertedero, con lo que se obtiene ecuaciones que reproducen muy bien el caudal real, con valores muy cercanos al caudal real medido, a pesar de que las dimensiones de los vertederos están fuera de los límites recomendados para su construcción, estos son capaces de medir apropiadamente los caudales que fluyen a través de ellos. Finalmente, (Lopez P. , 2018, pág. 99), se tiene, (a) Al comparar en forma experimental el funcionamiento hidráulico del vertedero triangular, trapezoidal, circular y rectangular, se observó que todos muestran las mismas características, así mismo se verificó que su comportamiento responde a las suposiciones hechas para la obtención de la ecuación para el cálculo del caudal teórico. (b) En cuanto a la sensibilidad para el cálculo del caudal, se observó que los vertederos trapezoidal y

rectangular son indicados para caudales grandes, es decir para valores grandes de la carga H , en tanto que los vertederos triangulares y circularles que son adecuados para la medición de caudales pequeños que corresponden a valores pequeños de H . (c) Por último, se determinó que el efecto de la viscosidad y tensión superficial está presente en los cuatro vertederos, los que se pudieron constatar confrontando el caudal teórico con el caudal real para cada altura H de la carga del vertedor, pues el caudal teórico presenta valores mayores al caudal real, tal y como teóricamente se esperaba.

Esta investigación nos impulsa a proponer nuevas maneras de medir el caudal con diferentes tipos de geometrías de vertederos, incluso con un aparato donde se mostró el funcionamiento hidráulicos de los vertederos, es por ello, que se propondrá un vertedero tipo combinado donde incluye las figuras triangulares y rectangulares para la medición de caudales pequeños y grandes respectivamente, ante un riachuelo natural donde su cauce varí a de acuerdo a varias factores climatológicos y estacionales.

Antecedente 3

Elaboración y calibración de tres vertederos, rectangular, triangular, trapezoidal de cresta delgada para realizar aforos en canales.

El agua es el elemento vital en nuestro planeta, para la vida, tiene muchos usos como son domésticos, industriales y en la agricultura, ella podemos encontrarla en los ríos, lagos, manantiales, en ese sentido, en su proyecto de investigación (Cadena, 2017, pág. 1) comienza por mencionar estudios donde se aplican modelos hidrológicos e hidráulicos para niveles de agua en tiempo real, para ello es necesario tomar algunas

muestras de lluvias donde se obtendrá el nivel de agua mediante escurrimiento, con la finalidad de distribuir el agua de un lugar a otro se utilizan canales, estos pueden ser de diferentes sección y recorrer largas distancias, estos canales tienen por utilidad el riego por la gran existencia en la zona de cultivos y a su vez se debe evitar el desperdicio del mismo, para ello se debe obtener el caudal que se desea llevar, se vio por conveniente utilizar los vertederos. Define a los vertederos como estructuras hidráulicas que permiten el paso, mediante escurrimiento, cuando el fluido llega a su punto máximo de una abertura. (Cadena, 2017, pág. 16), pudiendo estos tener diferentes secciones.

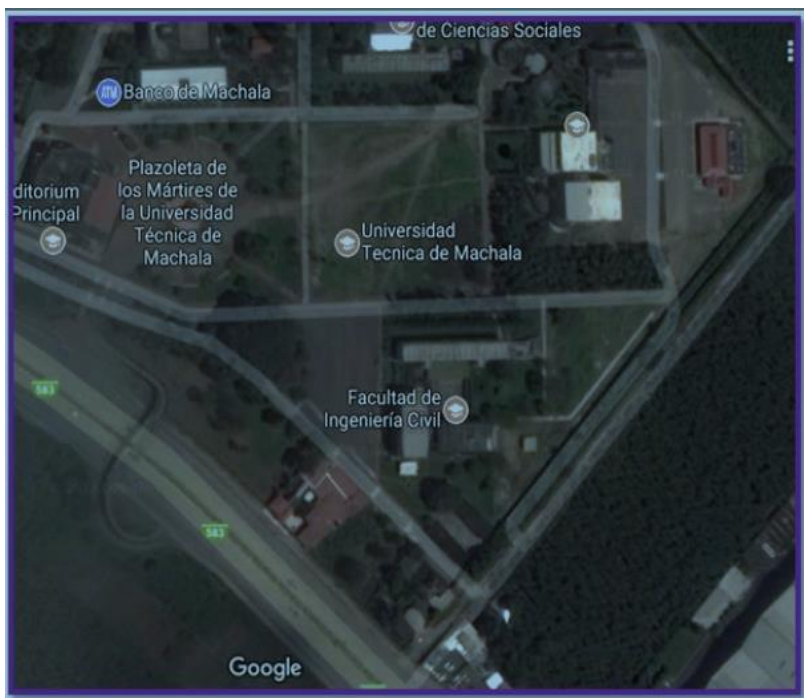


Figura 5: Vista aérea del canal en las instalaciones de la UTMACH.

Fuente: Elaboración y calibración de tres vertederos, rectangular, triangular, trapezoidal de cresta delgada para realizar aforos en canales, (Cadena, 2017, pág. 16).

Podemos apreciar según información expuesta por (Cadena, 2017, pág. 17), que el canal pequeño de dimensiones de 0.68x0.8m consta de dos tramos, un tramo de tierra y el otro de hormigón, además consta de una compuerta que nos da la facilidad de regular el

calado, es preciso señalar que para la implementación del proyecto se procedió con la fabricación de las placas de vertederos de pleibo marino con las diferentes secciones. Teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de formas de vertederos como los de secciones rectangulares, triangulares y trapezoidales, pudiendo tener estos a su vez tener contracciones en sus extremos. Diseñamos tres vertederos de cresta delgada rectangular, triangular y trapezoidal para realizar el aforo y se calcula a continuación los caudales de cada uno. Se detalla que, (a) los **vertederos rectangulares**, son los más comunes en la vida cotidiana por su menor costo y fácil manejo de construcción, estos tienen contracciones en sus extremos, pero ello dependerá del caudal que circulará por él. (b) Los **Vertederos triangulares** son vertederos con ángulos internos que vienen desde 15° hasta 120° ya que depende de este para la obtención de los valores del coeficiente de descarga. (c) Y por último mencionamos a los vertederos **trapezoidales**, Son vertederos que se los puede visualizar como que, si fuera mixta entre un vertedero rectangular y el otro triangular, se debe tener en cuenta que para mayor funcionalidad la inclinación debe ser 1 en el plano horizontal y cuatro en el plano vertical. En consecuencia, (Cadena, 2017, pág. 22) utilizo el **Método de Velocidad – Superficie**, conocido como método flotador, se realiza para calcular el caudal, midiendo un tramo del canal con ayuda de un cronómetro y un objeto flotante se lo suelta en el agua y se toma el tiempo, este proceso realizó seis lecturas de tiempo y se obtuvo un promedio de 39.33s, con esto procedemos a calcular la velocidad que dio 0.23m/s. Así mismo se reemplaza en la fórmula de caudal del área por la velocidad, pero se debe tener un factor de corrección de velocidad que está entre 0.75 y 0.80, en efecto el aforo mediante el método de Velocidad - Superficie dio como resultado un caudal de 48.55 Lt/s. A continuación (Cadena, 2017, pág. 22) presenta su **Análisis de**

Resultados, en el aforo dio un error porcentual elevado que está entre 15% y 20% en dos vertederos, pero el Vertedero Triangular tuvo un 0.97% de error por lo que éste es el más cercano al realizado con el Molinete. El aforo se realizó de una manera empírica por tal razón pueden existir filtraciones que no han sido tomadas en cuentas, a ello se debe el porcentaje de error elevado. Finalmente se concluye: a) Para la comprobación de los caudales de aforo se obtuvo un molinete de propiedad de la empresa de SENAGUA la cual proporciono como resultado un caudal de 39.61 Lt/s, resultado que se comparó con los vertederos nos da un margen de error de 0.97% para el vertedero triangular, y entre el 19.10% - 14.10% para rectangular y trapezoidal respectivamente, luego de efectuado el aforo, se obtuvo como resultado los siguientes valores para el vertedero rectangular un caudal de 47.18 Lt/s, vertedero triangular 40.00 Lt/s y el vertedero trapezoidal 45.20 Lt/s.

Esta investigación nos aporta la idea de poder hallar la velocidad del agua, por el método Velocidad – superficie, conociendo el caudal real, la sección transversal al río, y el tiempo obtenido por un objeto flotante en el agua, sin embargo existe también otra forma de calcular el caudal real por el método volumétrico como se realizó en la presente investigación.

Antecedente 4

Investigación del comportamiento hidráulico del coeficiente de descarga de vertederos de flujo libre.

Los vertederos se constituyen como estructuras hidráulicas, las cuales constan de una pared delgada o gruesa perpendicular al flujo, por encima del cual se produce el escurrimiento del flujo según definición de (Salcedo , 2017, pág. 54), así mismo estas estructuras pueden utilizarse como dispositivos de aforo y elementos de calibración en laboratorios. Estos se clasifican en: **vertedero triangular** que tiene un corte en forma de “V” efectuado en una plancha metálica, la bisectriz del ángulo de corte debe ser vertical y equidistante de los lados del canal, la plancha metálica con que se construye el vertedero debe poseer un espesor entre uno y dos mm, debe estar libre de ralladuras, a mayor espesor de dos mm, se debe de realizar un corte de 45° para el lado de aguas debajo de la plancha metálica.

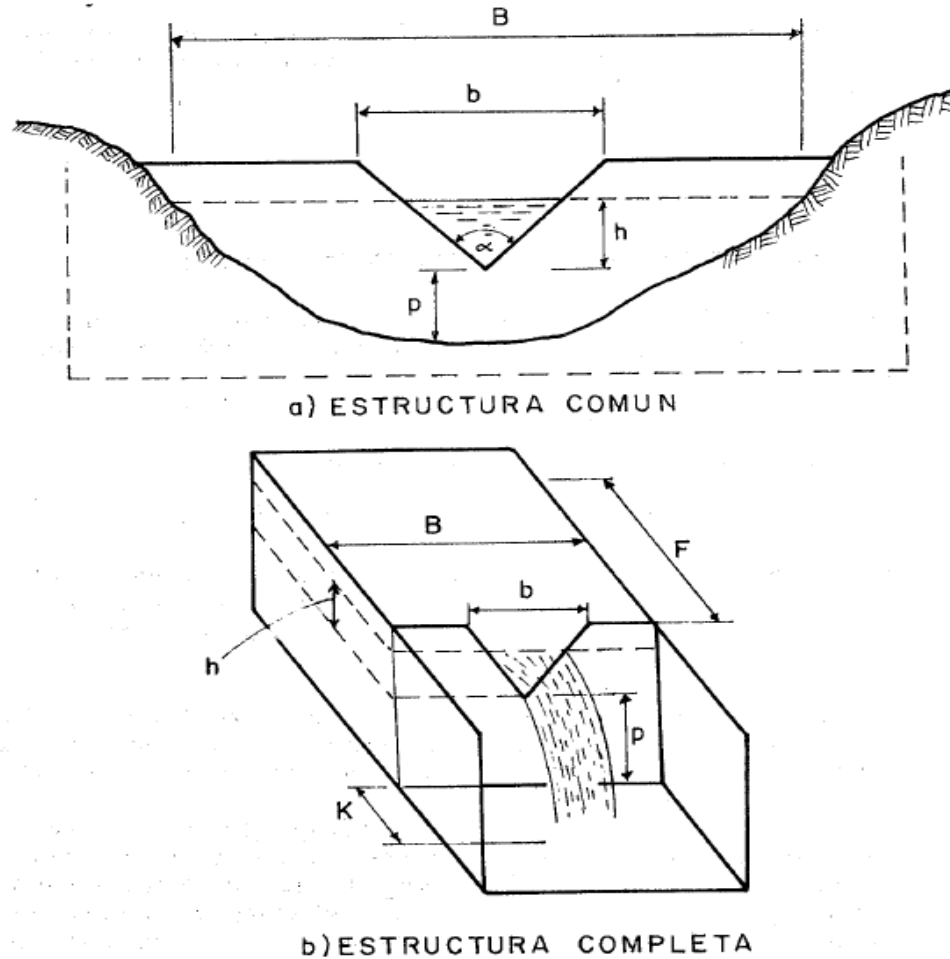


Figura 6: Características del vertedero triangular de pared delgada

Fuente: Norma técnica CETESB L4.120.

También se tiene los **vertederos rectangulares**, puede ser sin contracción cuando el ancho del canal es igual al ancho del vertedero y con contracción, cuando el ancho del vertedero es menor del canal, este debe estar dispuesto simétricamente y la placa debe ser plana sin ondulaciones o asperezas. La línea de la cresta del vertedero debe ser horizontal y formar un ángulo de 90° con la superficie lateral, este tipo de vertedero debe estar situado en la parte rectangular del canal, en una sección recta, donde exista rugosidad mínima.

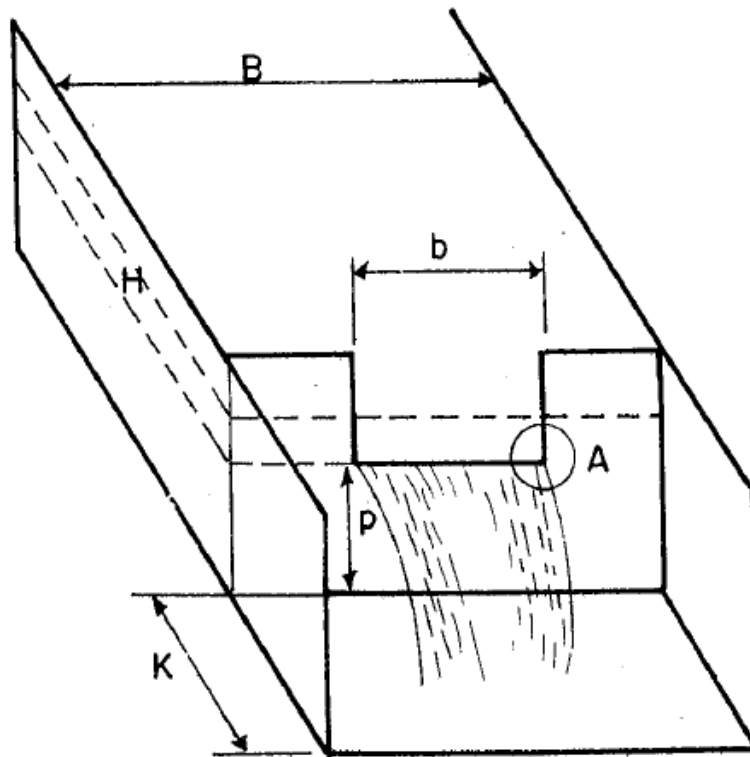


Figura 7: Características del vertedero rectangular de pared delgada.

Fuente: Norma técnica CETESB L4.120

La Metodología de (Salcedo , 2017, pág. 1) se refiere a la utilización de la base metodológica de la hidráulica experimental, mediante mediciones in situ, variando los caudales de ingreso al aliviadero, recolectando datos de perfil lámina de agua superior e inferior, carga hidráulica en el aliviadero, presiones y subpresiones en el paramento inferior, para que luego del procesamiento, se encuentre los coeficientes de descarga para compararlos con los de otros laboratorios e investigadores.

COEFICIENTES DE DESCARGA DE ALIVIADEROS AJUSTADO A LA LAMINA VERTIENTE (PERFIL CREAGER)

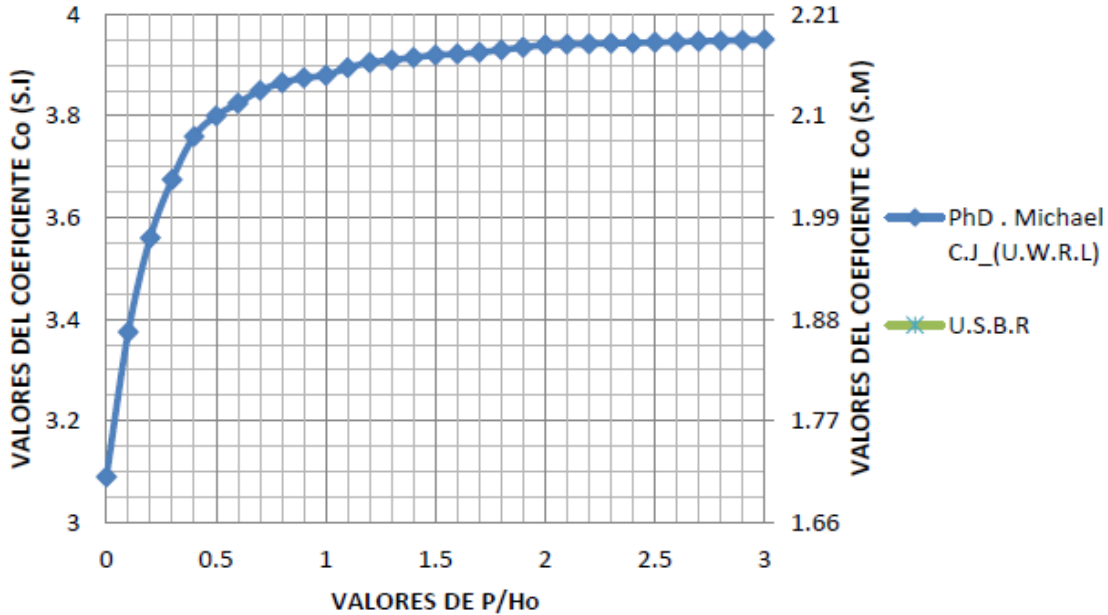


Figura 8: Coeficientes de descarga de aliviaderos ajustado a la lámina vertiente (Perfil Creager).

Fuente: Investigación del comportamiento hidráulico del coeficiente de descarga de vertederos de flujo libre - Salcedo , 2017, pág. 127.

En definitiva (Salcedo , 2017, pág. 157) concluye con (a) Se diseñó y construyó un modelo físico de aliviadero ajustado a la lámina vertiente (Perfil Creager), en el cual se realizaron pruebas para investigar el comportamiento hidráulico del coeficiente de descarga para diferentes caudales de operación. (b) La altura sobre el nivel del mar tiene influencia en el comportamiento del coeficiente de descarga, a más altura sobre el nivel del mar el coeficiente de descarga disminuye de valor. (c) Así también en el ensayo con vertedero rectangular para el cálculo del caudal los datos graficados en las curvas (C_o vs P/H_o), (C_1 vs H/H_o) salen dispersos, al contrario en el ensayo con vertedero triangular los datos graficados en las curvas (C_o vs P/H_o), (C_1 vs H/H_o) resultan sobrepuestos, con lo que se comprueba que el vertedero triangular tiene mejor precisión para el cálculo del

caudal que el vertedero rectangular como fue mencionado en el marco teórico que el caudal triangular nos brinda mayor precisión para caudales menores a 30 lt/s , como es el caso de varianza del caudal .

Esta investigación nos aporta a ver como se comporta los coeficientes de descarga en vertedero triangulares y rectangulares , ante diversos factores como la altura, nivel del mar, y es ahí donde se nota la influencia de la presión y la temperatura del agua, así como también nos demuestra que para vertederos triangulares , en caudales pequeños es más exacto a comparación del vertedero rectangular ,asi como también se cumple que para caudales grandes es conveniente medir con vertederos rectangulares, ya que da más exactitud a la medición de caudales reales y esto genera menor pérdida de energía, ya que por su amplia abertura, da espacio a que circule mayor cantidad de agua y eso certifica una vez más nuestros resultados obtenidos en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte.

Antecedente 5

Influencia de la geometría hidrodinámica en la disipación de energía de cuatro vertederos tipo laberinto y un vertedero tipo rectangular con igual caudal de descarga y pendiente.

En Obras de excedencia hidráulica lo que se quiere es aumentar la resistencia al flujo e incrementar la disipación de energía en su descenso hacia aguas abajo, y a su vez reducir la cavitación de las estructuras durante este proceso. Este problema se presenta en vertederos de excedencia, bocatomas, estructuras de caída, la estructura disipadora de energía es una parte importante de la obra de excedencia que tiene como objetivo disipar la energía cinética

que el agua adquiere en su proceso de caída desde que sale de la sección de control y pasa por la transición y rápida, en donde el flujo del agua se incrementa sin tener mucha resistencia, (Reyes & Roldan, 2018, pág. 19) expone un estudio experimental de **la disipación de energía de cuatro vertederos tipo laberinto y un tipo rectangular con igual caudal de descarga y pendiente en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada Antenor Orrego**, producto del estudio de un vertedero es seleccionado de acuerdo a requerimientos de descarga, diseño y utilidad de la presa, siendo que la capacidad del vertedero debe ser necesariamente igual, aunque generalmente mayor al caudal máximo de descarga corresponde al creciente de diseño, término obtenido del aporte de la cuenca en eventos de alta ocurrencia de la precipitación. Del mismo modo, (Reyes & Roldan, 2018, pág. 34) existen diferentes formas de vertederos convencionales normales, incluyendo aquellos con pared delgada, vertederos laterales y vertederos oblicuos, los vertederos pueden ser definidos como simples aberturas, sobre los cuales un líquido fluye. Es así que se tiene al **vertedero rectangular**, el cual tiene una sección de caudal en forma de rectángulo con paredes delgadas, de metal, madera o algún polímero resistente, con una cresta biselada o cortada en declive, a fin de obtener una arista delgada. Así como, el **vertedero triangular**, son vertederos hidráulicos, generalmente usados para medir caudales. Para obtener resultados fiables en la medición con el vertedero de pared delgada es importante que la cresta del vertedero sea horizontal o, en el caso de que esta sea triangular, la bisectriz del ángulo sea vertical, y finalmente el **vertedero trapezoidal**, como su nombre lo indica con forma trapezoidal en su abertura, también conocido como vertedero Cipolletti en su honor a su inventor, el ingeniero italiano Cesare Cipolletti.

Por otro lado, (Reyes & Roldan, 2018, pág. 51) presentan la **investigación experimental**, la misma que consiste en la elaboración de ensayos y la manipulación de los prototipos de vertederos antes mencionados, en condiciones rigurosamente supervisadas, con el fin de describir e investigar la influencia de la geometría hidrodinámica de cada vertedero en la disipación de energía de un flujo constante con igual caudal de descarga y pendiente. La misma que se constituyó en realizar un experimento para introducir determinadas variables de estudio manipuladas para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. Cuya **Metodología** para establecer la disipación de energía en el flujo, está dada básicamente por el tipo de Resalto Hidráulico generado por cada uno de los prototipos, con variación en el caudal y la pendiente longitudinal dentro del canal de pendiente variable. Finalmente, (Reyes & Roldan, 2018, pág. 118) llega a concluir, (a) con el logro de diseñar y construir los prototipos de los vertederos tipo laberinto de forma correcta, cuyo material usado no presentó daños de corrosión ni deterioro durante y después de los ensayos. (b) El estudio también demostró que el diseño de vertederos en laberinto debe considerar la incorporación de estos elementos hidrodinámicos, considerando que no siempre se podrá utilizar una aproximación grande como la de largo 12 o 18 cm debido a que cada reservorio tiene sus dimensiones y a veces son muy limitadas, por lo cual es indispensable evaluar los factores específicos para cada proyecto. (c) Se realizó el estudio de disipación de energía de cuatro vertederos tipo laberinto: triangular, trapezoidal, rectangular y circular, y un vertedero rectangular convencional sin contracciones laterales cuyo resultado fue la disipación de energía mediante resalto hidráulico de los vertederos laberinto triangular y trapezoidal ensayados con caudales de 9.104 lt/s, 13.201 lt/s y 19.141 lt/s, con pendientes de 0% y 1%; y de los vertederos rectangular y circular ensayados con caudales de 9.104 lt/s y

13.201 lt/s con pendiente de 0%. El vertedero rectangular convencional sin contracciones laterales no disipó energía bajo ninguna condición, no se observó resalto hidráulico.

Esta investigación nos aporta una idea general para saber si existe o no resalto hidráulico acompañado de una disipación de energía, generada por variación de caudales y pendiente longitudinal en un canal de pendiente variable, por lo que los ensayos en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, se realizaron con un caudal máximo de 8.5L/s aproximadamente y unas pendientes de 1%, 2% y 4%, por lo que esto significa que no existen caudales muy rápidos, ni pendientes elevadas por ende no existiría un resalto hidráulico ni pérdidas de energía por filtración o calor.

Antecedente 6

Calibración de Vertederos Triangulares de Pared Delgada para distintos ángulos de abertura.

Según (García A. , 2015, pág. 29) en su estudio Calibración de Vertederos Triangulares de Pared Delgada para distintos ángulos de abertura , manifiesta que en todos los tiempos el agua constituye el líquido vital para los seres humanos, las plantas y los animales, al ser uno de los principales elementos que mantiene en equilibrio el medio ambiente y un insumo fundamental en cualquier tipo de obra o proyecto. Es por ello que es importante tener un control sobre el uso de este recurso, saber la disponibilidad de agua con que se cuenta, y su distribución a los usuarios en la cantidad deseada, tener información sobre el volumen de agua con que se riegan los cultivos, para determinar la eficiencia de uso y de manejo y otros, la principal función de la hidrometría que es proveer de datos oportunos y veraces, a través de mediciones de caudales. En base a esta información tenemos el uso de los vertederos,

siendo estas una barrera que se inserta dentro de una corriente a superficie libre y de este modo obliga a que el líquido retroceda un poco atrás y fluya sobre o a través de ella, aunque pareciera que existe cierta similitud con el sistema de las compuertas, la diferencia es que en estas últimas el flujo supera el obstáculo por la parte inferior. Un vertedero puede construirse de distintas formas geométricas en su sección transversal.

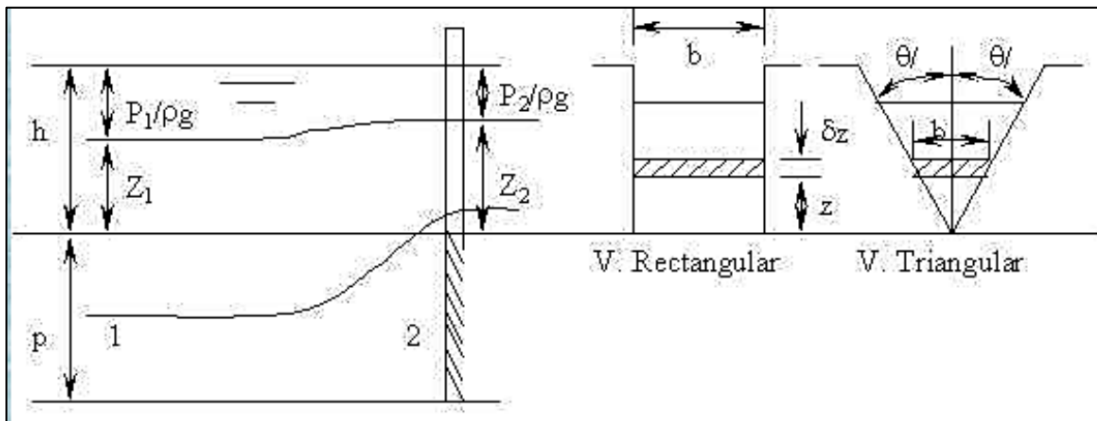


Figura 9: Flujo ideal sobre un vertedero de pared delgada.

Fuente: SANDOVAL, Luis. Flujo ideal sobre un vertedero de pared delgada.

(Garcia A. , 2015) **elaboro Ensayos**, Fijar el vertedero a la estructura del canal procurando que el empaque provisto quede lo suficientemente presionado evitando filtraciones en los bordes que pudieran afectar las lecturas, para luego arrancar la bomba que suministra el agua al sistema y controlar el flujo de agua al canal de tal manera que pueda estabilizarse el tirante de agua ligeramente por debajo de la altura máxima del vertedero. Este procedimiento es para realizar las lecturas de los tirantes de mayor a menor, para que la bomba trabaje sin forzarse y que el tiempo de estabilización de las alturas de carga sea menor. la investigación concentrada en la calibración de vertederos triangulares y consistió en realizar aforos para los diferentes ángulos de abertura de los dispositivos de medición en

cuestión y a su vez para distintos tirantes o alturas de flujo dentro del canal, con la finalidad de obtener ecuaciones experimentales que sean comparables con las ecuaciones teóricas y así determinar factores de descarga, reales observados, para cada vertedero. También incluyo una serie de cálculos realizados mediante un programa computarizado que toma datos estadísticos para convertirlos en modelos matemáticos utilizables para este tipo de estudios. XVI Los ensayos se realizaron en condiciones controladas en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Figura 10: Realización de ensayos.

Fuente: Realización de ensayos. Laboratorio de Hidráulica, FIUSAC.

Resultados obtenidos por (Garcia A. , 2015), el objetivo de la prueba realizada es encontrar la relación entre el ángulo de abertura y la descarga los cálculos y los resultados respectivos para el coeficiente de descarga del vertedero VT-10, así mismo con los datos obtenidos en el

ensayo se procede a calcular los respectivos caudales. Se utiliza el método de aforo volumétrico, para las diferentes alturas o tirantes,. Los valores encontrados en esta investigación siguen la tendencia de resultados desarrollados en procesos experimentales que muestran factores de corrección para una descarga teórica.

Finalmente el autor (Garcia A. , 2015) concluye que a) Se realizaron los ensayos necesarios para obtener un factor o coeficiente de descarga para cada vertedero, ya que por la variante en el ángulo se manejaron distintos valores de caudales. Estos coeficientes dieron mayor precisión a las ecuaciones teóricas propuestas en los textos de hidráulica. b) Con base en este estudio se estimo una buena precisión en el caudal que circula sobre un vertedero de tipo triangular simplemente con medir la altura de carga o tirante, lo cual será de mucha utilidad en plantas de tratamiento y estaciones de aforo de pequeños ríos. c) Se hallo que el coeficiente de descarga C_d no es constante en ningún vertedero debido a la variación en su ángulo de abertura por lo se recurrió al software estadístico SPSS para deducir un modelo matemático que 90 relacione y H , generando resultados confiables para vertederos de apertura mayores a 50° .

Este antecedente nos aporta una idea sobre los vertederos triangulares donde sus coeficientes de descarga dan mayor precisión a las ecuaciones teóricas en pequeños ríos, esto significa que este antecedente constata los ensayos realizados en la presente investigación, en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte, donde se demostró que para los vertederos de material acrílicos con sus respectivas dimensiones, los coeficientes de descarga de los vertederos triangulares son mayores que los de vertederos rectangulares para caudales menores a 6 litros aproximadamente.

Antecedente 7

“Análisis Comparativo entre Coeficientes de Descarga Hidráulica en Vertederos Trapezoidales de Pared Delgada variando Dimensiones Manteniendo Relación Altura/Base”.

Los estudios realizados por (Torres J. , 2019), ha determinado que a nivel mundial el volumen de agua disponible es de fundamental importancia para calcular los porcentajes de consumo humano, así mismo para la irrigación de cada uno de los diferentes cultivos, para esto se utilizan diques, canales o represas con el fin de almacenar el líquido vital, elemental para la producción de recursos, pero cuando dicho volumen sobrepasa la capacidad de almacenamiento, para ello se necesita de un elemento que permita controlar el flujo del agua. Uno de los dispositivos más empleados, pero de investigación casi nula es el vertedero trapezoidal, cuyo coeficiente de descarga hidráulica varía en función del diseño geométrico del vertedero trapezoidal con el fin de contribuir con información a la comunidad científica

Vertedero. Es la estructura hidráulica que soporta el trayecto tanto libre como controlado de agua en los escurrimientos superficiales, además que también son utilizados en la medición de caudal en pequeñas riveras y canales

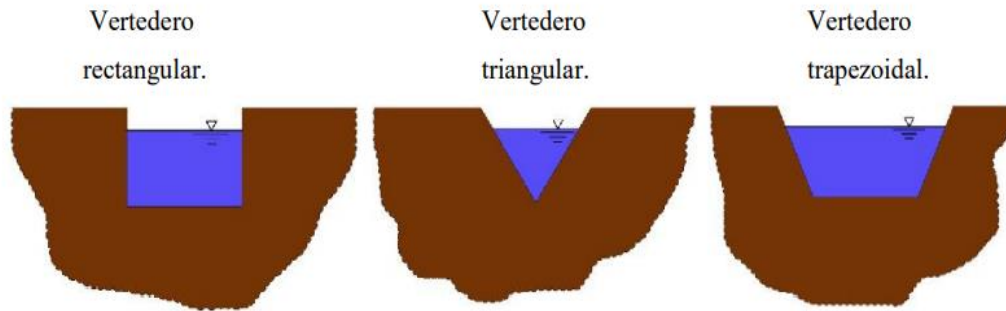


Figura 11: Tipos de vertederos.

Fuente: Torres Alban , Jorman 2018.

Vertedero Trapezoidal, es un vertedero hidráulico de geometría trapezoidal en su abertura donde el fluido hidráulico circula, un vertedero ideal que contrarrestara el decrecimiento del caudal debido a las contracciones laterales de la geometría rectangular por medio de la integración de partes geométricas triangulares, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos.

(Torres J. , 2019) realizó El procedimiento en el laboratorio de Hidráulica ubicado en la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, donde se realizó la toma de datos para la obtención de los coeficientes de descarga y se procedió a generar las curvas comparativas para conocer la variación de coeficientes de descarga en el vertedero trapezoidal de pared delgada manteniendo la relación altura/base. Así mismo se hizo uso del equipo electrónico “HYDROTECH” empleado para la ejecución de las prácticas de laboratorio

Tipos de Investigación empleado por (Torres J. , 2019) en el se fundamentó en dos tipos de investigaciones: La investigación exploratoria debido a que se está obteniendo una comparación entre los coeficientes de descarga que se pueden conseguir mediante la

variación de dimensiones de un vertedero trapezoidal de pared delgada sin modificar la relación altura/base y, la investigación experimental, ya que se procederá a variar el ángulo de inclinación cada 5° iniciando desde los 40° hasta llegar a los 15°, este rango de ángulos es limitado por la corta longitud de la base del canal hidráulico.

Resultados obtenidos . Se formaron diferentes grupos, cada una de las diferentes aperturas geométricas del vertedero trapezoidal de pared delgada, al comparar los diferentes coeficientes de descargas, tuvieron una diferencia máxima de 0.12 unidades, la cual se manifiesta en el grupo 15° en la relación base/altura 20vs40, se tuvo el resultado según el siguiente gráfico:



Figura 12: Comparación entre coeficientes de descarga hidráulica.

Fuente: Torres Albán, Jorman (2018).

En base a la figura, se señala que el 86.11% que corresponden a 31 de las 36 comparaciones realizadas a los coeficientes de descarga, evidencian diferencias entre

ellos, en cambio el 13.89% correspondiendo a 5 de las 36 antes mencionadas, demuestran un resultado opuesto.

El autor llegó a las conclusiones (Torres J. , 2019). a) Se diseñaron 24 diferentes vertederos trapezoidales de pared delgada, para realiza pruebas de laboratorio con 4 diferentes calados en cada uno de ellos, observando diferentes comportamientos hidráulicos al momento de comparar los coeficientes de descarga para todos los casos. b) Las curvas graficadas en tendencia de todos los coeficientes de descarga hidráulica tienen directriz positiva, es decir, que éstas aumentan o disminuyen en función de las distintas variables hidráulicas a ejecutar en laboratorio. c) El sistema electromecánico “Hydrotech” empleado para la ejecución de las prácticas de laboratorio, demostró que, al momento de automatizar un canal para realizar estudios hidráulicos, de éste se obtienen datos con mayor precisión, por ende el margen de error disminuye. d) El comportamiento de las curvas de descarga demostraron que, a mayor ancho de base geométrica del vertedero trapezoidal de pared delgada, mayor será el caudal de flujo, esto quiere decir que para generar el mayor caudal posible, la variable predominante será la que ocasione menor pérdida por fricción.

Según este antecedente se realizaron prácticas tanto en laboratorio como en campo para estimar el valores de los coeficientes de descarga en un vertedero trapezoidal y como puede influir otros factores del vertedero como por ejemplo su peralte, en los coeficientes de descarga, esto quiere decir que este antecedente constata a la presente investigación al realizar los ensayos en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del norte y su aplicación en campo en el canal de riego en el Entorno rural, para ver como influye con

otros factores del vertedero en el coeficientes de descarga como por ejemplo el tipo de material de vertedero, naturaleza de los bordes, peralte, etc.

1.3.- BASES TEÓRICAS

1.3.1.- Definición de vertedero: El vertedero es una pared que presenta una abertura de forma regular, por donde fluye el líquido. El vertedero choca contra corriente, causando una elevación del nivel aguas arriba, para controlar los niveles (vertederos de rebose), y para medir los caudales, (Marbello, R., 2007, pág. 1).

1.3.1.1.- Usos

Según (Lux, 2010, pág. 5), los vertederos son utilizados, intensiva y satisfactoriamente en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control del flujo en galerías y canales, razón por la cual su estudio es de gran importancia.

1.3.1.2.- Importancia

Según (Almeida , 2009, pág. 13), el agua es fundamental en la vida y es una de las cosas más importantes, donde tiene diferentes funciones, y que es transportado por canales de flujo, por ello este tipo de estructura hidráulica para el desarrollo de los países, más aún en nuestro país, donde existe diferentes actividades como por ejemplo la agricultura, ésta estructura hidráulica es un beneficio a las comunidades más aledañas al canal.

1.3.1.3.- Ventajas

- En los vertederos triangulares, sus caudales dependen de la altura de descarga con una potencia de $5/2$, y se tiene mayor precisión en la medición de caudales (Rocha A. , 2007, pág. 480).
- Es de fácil y económica instalación. (Miranda, 2016, pág. 5).
- Es largamente durable. (Miranda, 2016, pág. 5).

1.3.1.4.- Desventajas

- Existen ciertos niveles de ahogamiento aguas abajo, sobre la cresta del vertedero. (Miranda, 2016, pág. 7).
- Existen pocos lugares donde se puede colocar el vertedero (Miranda, 2016, pág. 7).
- A veces origina la inundación en canales. (Miranda, 2016, pág. 7).

1.3.2.- Diseño de vertederos rectangulares

1.3.2.1.- Definición: Se conoce que los vertederos rectangulares son los más utilizados por las ventajas que presenta y su fácil instalación, construcción y amplio rango de cálculo de caudales. (Almeida , 2009, pág. 59).

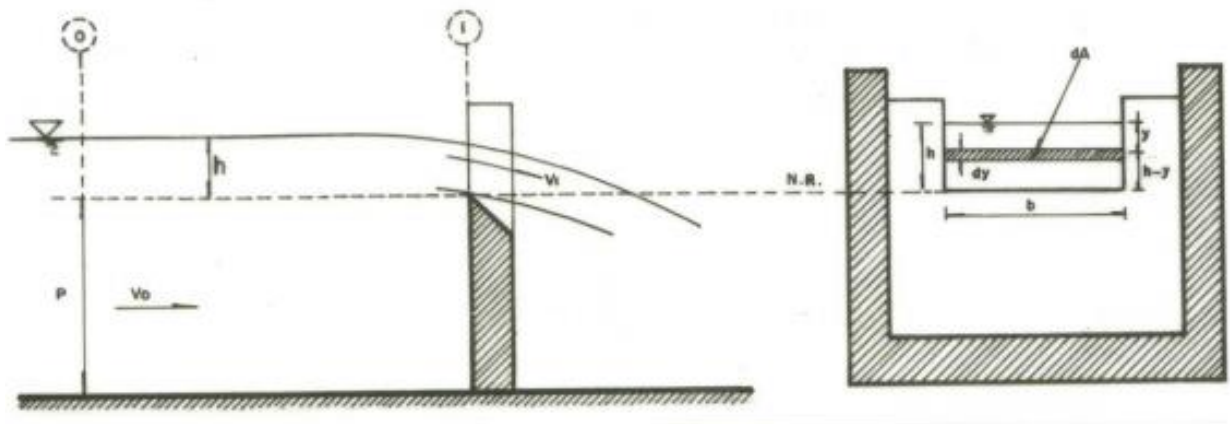


Figura 13: Flujo a través de vertedero rectangular de pared delgada.

Fuente: Elaboración propia, Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello R. , 2007, pág. 14).

1.3.2.2.- Características

Los vertederos rectangulares de pared hidráulica son el tipo de vertedero más antiguo en su propio uso. Su sencilla construcción los hace más populares, (Almeida , 2009, pág. 52).

1.3.2.3.- Ventajas

- Tiene mayores coeficientes de descarga en caudales grandes, (Almeida , 2009, pág. 54).
- Permite medir caudales grandes, debido al ancho de la cresta y pueda pasar un caudal a una profundidad adecuada, (Almeida , 2009, pág. 54).
- Fácil de construir e instalar, (Almeida , 2009, pág. 54).

1.3.3.- Diseño de vertederos hidráulicos triangulares

1.3.3.1.- Definición: El vertedero triangular, también conocido como vertedero Thomsom, es preferido cuando los caudales son pequeños, porque la sección transversal de la lámina vertiente muestra gran y notoria variación de altura. (Almeida , 2009, pág. 46).

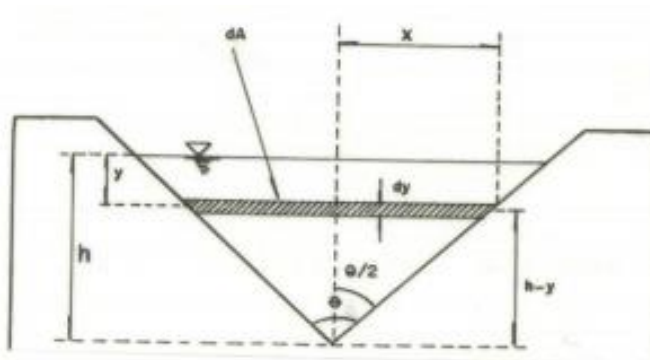


Figura 14: Flujo a través de un vertedero triangular.

Fuente: Elaboración propia, Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello R. , 2005, pág. 24).

1.3.3.2.- Características

Los vertederos triangulares de pared delgada se caracterizan porque la forma de la cresta por donde pasa el fluido siendo triangular. Esta forma en V significa que son más sensibles a un caudal pequeño, pero su ancho aumenta para adecuarse a caudales mayores. (Almeida , 2009, pág. 46).

1.3.3.3.- Ventaja

Para medir caudales pequeños, el vertedero triangular es más preciso que el vertedero rectangular, puesto que, para un mismo caudal, los valores de la carga h son mayores. (Marbello R. , 2005)

1.3.3.4.- Sensibilidad

Es la variación de la descarga a causa de los cambios en el nivel del agua o por errores en la medición de la altura de carga. Los vertederos triangulares son más sensibles a un caudal pequeño, pero su ancho aumenta para adecuarse a caudales mayores. En general, el ángulo de vertedero es de 90° , pero si se quiere aumentar la sensibilidad se pueden emplear vertederos triangulares de ángulos de 60° , 30° y 15° . Por estas consideraciones es muy importante tomar mayor precaución en la toma de datos de este tipo de dichos vertederos, (Almeida , 2009, pág. 38).

1.3.4.-Indicadores

- Para la Dimensión 1 (respecto al caudal teórico del proceso de calibración).

Autor	Indicador	Concepto
(Marbello, R., 2007, pág. 25)	Caudal real (lt/s)	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un canal por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el aforo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
(Marbello, R., 2007, pág. 25)	Carga de vertedero (m)	Es la altura del fluido a partir de la cresta del vertedero Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga H debe ser medida aguas arriba, a una distancia aproximadamente igual o superior a 4H (m).
(Rocha A. , 2015, pág. 10)	Angulo de vertedero (grados sexagesimales)	El ángulo es un tipo de geometría para referirse al espacio comprendido entre la intersección de dos líneas que parten de un mismo punto, y que es medido en grados.

Tabla 1: Indicadores de la dimensión 1.

Fuente: Elaboración propia.

- Para la Dimensión 2 (respecto a su coeficiente de descarga).

Autor	Indicador	Concepto
(Marbello, R., 2007, pág. 25)	Caudal real (Its/seg.)	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un canal por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el aforo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
(Rocha A. , 2015, pág. 6)	Temperatura(°C)	La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna o calor de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, es medida por un termómetro.

Tabla 2: Indicadores de la dimensión 2

Fuente: Elaboración propia.

- Para la Dimensión 3 (Aplicar el vertedero combinado 90°)

Autor	Indicador	Concepto
(Marbello, R., 2007, pág. 25)	Caudal real (lt/s)	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un canal por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el aforo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
(Marbello, R., 2007, pág. 25)	Carga de vertedero (m)	Es la altura del fluido a partir de la cresta del vertedero Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga H debe ser medida aguas arriba, a una distancia aproximadamente igual o superior a 4H (m).
(Rocha A. , 2015, pág. 6)	Angulo de vertedero (grados sexagesimales)	El ángulo es un tipo de geometría para referirse al espacio comprendido entre la intersección de dos líneas que parten de un mismo punto, y que es medido en grados.

Tabla 3: Indicadores de la dimensión 3.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.6.- Equipos e instrumentos

- Instrumentos para medir la Dimensión 1 (formato, equipo)

Indicador	Equipo o instrumento	Uso, costos y resultados
Caudal (lt/s)	Formato de Registro de los Volúmenes con El Método Volumétrico mediante el formato de (Alvarado, Manual de Medición de Caudales, 2017), Anexo N° 6.	<p>Uso: Para caudales pequeños como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, consiste en hacer llegar un caudal a un receptor de agua lo cual el volumen sea conocido y contabilizando el tiempo total en que se llena dicho receptor. (Alvarado, 2017, pág. 3).</p> <p>Resultados: Este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener una idea rápida del caudal aportado por determinado canal.</p>
Carga de vertedero (m)	LIMNIMETRO	<p>Uso: Medición de cambios lentos del nivel de agua en canales de flujo y modelos hidráulicos (tecnología educativa s.a, 2021)</p> <p>- Resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolución: $\pm 0,10\text{mm}$ (tecnología educativa s.a, 2021) <p>-Costo en el mercado: \$ 620. (tecnología educativa s.a, 2021)</p>

Angulo de
vertedero (grados
sexagesimales)

REGLA
TRANSPORTADOR

-Uso: El transportador es una herramienta muy básica que se utiliza para medir y dibujar ángulos. Por lo general tiene forma semicircular, pero también viene en forma de un círculo completo, es decir, una versión de 360 grados. (wikiHow, 2021)

-Resultados: Realiza la medición del ángulo de manera más exacta. (wikiHow, 2021)

-Costo en el mercado: s/. 1.60 (Plaza Vea, 2021)

Tabla 4: Instrumentos para medir la dimensión 1.

Fuente: Elaboración propia.

- Instrumentos para medir la Dimensión 2

Indicador	Equipo o instrumento	Uso, costos y resultados
Caudal real (lts/seg.)	Formato de registro de los volúmenes con el método volumétrico mediante el formato de (Alvarado, Manual de Medición de Caudales, 2017) , Anexo N° 6.	<p>Uso : Para caudales pequeños como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, consiste en hacer llegar un caudal a un receptor de agua lo cual el volumen sea conocido y contabilizando el tiempo total en que se llena dicho receptor. (Alvarado, 2017, pág. 3).</p> <p>Resultados: Este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener una idea rápida del caudal aportado por determinado canal.</p>
Temperatura(°C)	Termómetro	<p>Uso: Un termómetro de mercurio es un tipo de termómetro que generalmente se utiliza para medir las temperaturas bajas medianas y altas de un cuerpo. (Uniniños, 2013).</p> <p>Resultados: Para determinar la temperatura de una superficie o un cuerpo, el adecuado es el termómetro en contacto que arroja resultados con solo tocar y hacer una leve presión sobre el área. (Uniniños, 2013).</p> <p>-Costo en el mercado: s/ 28.90 (Inkafarma, 2021)</p>

Tabla 5: Instrumentos para medir la dimensión 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Instrumentos para medir la Dimensión 3

Indicador	Equipo o instrumento	Uso, costos y resultados
Caudal real (lt/s)	Formato de Registro de los Volúmenes con El Método Volumétrico mediante el formato de (Alvarado, Manual de Medición de Caudales, 2017), Anexo N°6.	<p>Uso: Para caudales pequeños como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, consiste en hacer llegar un caudal a un receptor de agua lo cual el volumen sea conocido y contabilizando el tiempo total en que se llena dicho receptor. (Alvarado, 2017, pág. 3).</p> <p>Resultados: Este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener una idea rápida del caudal aportado por determinado canal. (Alvarado, 2017, pág. 3).</p>
Carga de vertedero (m)	Wincha	<p>Uso: Se usa para medir longitudes cortas de 8 m, las cintas son metálicas. Para longitudes mayores a 10 m, existen cintas de plástico. (Aceros arequipa, 2010, pág. 29).</p> <p>- Resultados: Sus mediciones son en cm y en pulg. (Aceros arequipa, 2010, pág. 29).</p> <p>-Costo en el mercado: S/. 20.90. (Promart, 2021).</p>
Angulo de vertedero (grados sexagesimales)	Regla transportador	<p>-Uso: El transportador es una herramienta muy básica que se utiliza para medir y dibujar ángulos. Por lo general tiene forma semicircular, pero también viene en forma de un círculo completo, es decir, una versión de 360 grados. (wikiHow, 2021)</p> <p>-Resultados: Realiza la medición del ángulo de manera más exacta. (wikiHow, 2021)</p> <p>-Costo en el mercado: s/. 1.60 (Plaza Veá, 2021)</p>

Tabla 6: Instrumentos para medir la dimensión 3.

Fuente: Elaboración propia.

1.4.- Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados en el Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta, año 2021?

1.5.- Objetivos

1.5.1.- Objetivo general

Realizar el Diseño de Vertederos Hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados en el Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta, año 2021.

1.5.2.- Objetivos específicos

OE.1- Obtener resultados de los vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados, respecto al caudal teórico del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

OE.2- Obtener resultados de los vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados, respecto a los coeficientes de descarga del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

OE.3- Aplicar el vertedero hidráulico combinado 90° insitu en el Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta, año 2021.

1.8 Hipótesis

1.8.1.- Hipótesis general

- El diseño de vertederos hidráulicos, triangulares, rectangulares y combinados nos proporcionará un coeficiente de descarga en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta, año 2021.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1.- Tipo de investigación

2.1.1.- Por el propósito: Aplicada

Para (Esteban, 2018), la investigación según el propósito es de tipo Aplicada es porque está orientada a resolver los problemas que se presentan en los diversos procesos de producción, distribución, circulación, y consumo de bienes y servicios de cualquier actividad humana. Se denomina aplicada; porque en base a la investigación básica, en las ciencias se formulan problemas o hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva en la sociedad.

La presente investigación según el propósito es de tipo Aplicada, ya que es necesario tener en cuenta las teorías e investigaciones ya conocidas, para identificar diferencias y similitudes que existe en la presente investigación, aplicando conocimientos básicos, posteriormente se realizará la investigación aplicada.

2.1.2 Según el diseño de investigación: No experimental

Para (Sampieri, 2014, pág. 152), un diseño tipo No experimental son aquellos estudios que se realizan sin la manipulación de las variables, es decir en los que no se hacen variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables existentes, y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para poder analizarlos.

La presente investigación según el diseño es de tipo No Experimental, ya que no se manipulan variables independientes para luego encontrar resultados en variables dependientes. Principalmente, se basa en la observación de fenómenos tal y como se encuentra en su estado natural y proporcionar la descripción de dicha información para luego recolectarla y poder analizar su comportamiento.

2.2. Diseño de investigación

2.2.1.- Diseño No experimental – descriptivo

En los estudios descriptivos el investigador observa, describe y fundamenta varios aspectos del fenómeno. No existe la manipulación de variables. Son diseños descriptivos que describen lo que existe, determinan la frecuencia en que este hecho ocurre y clasificando la información dada. (Sousa, Driessnack, & Costa, 2007)

2.2.2.- Diseño No experimental - Transversal

Según (Liu, 2008 y Tucker, 2004), los diseños de investigación transversal son donde se recolectan datos en un solo momento, es decir en un tiempo único. Su propósito es describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado, (Sampieri, 2014, pág. 154).

La presente investigación es de tipo No experimental-Descriptivo y Transversal, ya que recolectan datos sobre la variable independiente con el fin de describir dicha variable, y analizar su comportamiento en un tiempo único.

Tabla 7: Esquema de diseño transversal.

Estudio	T1
M: Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta.	O: Diseño de vertederos hidráulicos.

Fuente: Elaboración propia

M: Muestra.

O: Observación.

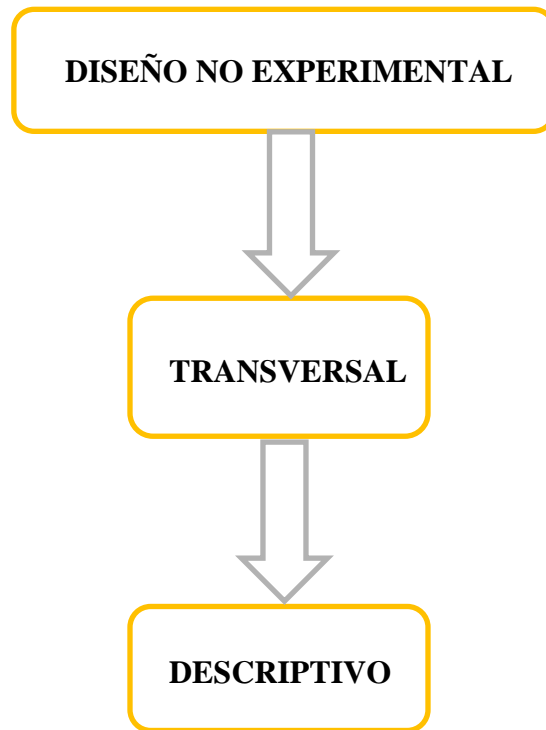


Figura 15 : Diagrama de diseño de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.- Variables

2.3.1.- Variable: Diseño de vertederos hidráulicos

Para (Skertchly, 1988, pág. 32), el diseño del vertedero se originó a partir de la idea de que su funcionamiento fuera a régimen libre; es decir, que los niveles aguas abajo no alterarían el flujo. Así mismo, en estas condiciones de ahogamiento el gasto puede calcularse con base en la carga hidráulica aguas arriba, y después compensar con un factor de reducción los efectos de sumergencia.

2.3.2.- Clasificación de variables

Variable	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Diseño de vertederos hidráulicos	Independiente	Cuantitativa	Razón	Multidimensional	Indirecta

Tabla 8: Matriz de clasificación de variables.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos
Diseño de vertederos hidráulicos	El diseño del vertedor se originó a partir de la idea de que su funcionamiento fuera a régimen libre; es decir, que los niveles aguas abajo no alterarían el flujo. Sin embargo, en condiciones de ahogamiento el gasto puede calcularse con base en la carga hidráulica aguas arriba, y después compensar con un factor de reducción los efectos de sumergencia. Este factor se relaciona con la razón entre el nivel aguas abajo y el de aguas arriba, (Skertchly, 1988, pág. 32),	Primeramente se recolectaron datos numéricos mediante la ficha de registro de observación de los ensayos realizados en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos, donde se seleccionó al vertedero hidráulico combinado que generó mayor coeficiente de descarga para caudales mayores a 6 L/s aproximadamente, para luego aplicar dicho vertedero en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima - Canta.	Caudal teórico del proceso de calibración.	1. Caudal real. 2. Carga del fluido. 3. Ángulo	1. L/seg. 2. mm 3. Grados sexagesimales	1.- Formato de registro de los volúmenes con el método volumétrico, Anexo N°6. 2. Limnómetro. 3. Regla transportador.
			Coeficiente de descarga del proceso de calibración.	1. Caudal real 2. Temperatura	1. L/seg. 2. (°C)	1.- Formato de registro de los volúmenes con el método volumétrico, Anexo N°6. 2. Termómetro.
			Aplicar el vertedero combinado 90°	1. Caudal real 2. Carga del fluido 3. Ángulo de vertedero	1. L/seg. 2. mm 3. Grados sexagesimales	1.- Formato de registro de los volúmenes con el método volumétrico, Anexo N°6. 2. Wincha. 3. Regla transportador.

Tabla 9: Matriz de operacionalización de variables.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.-Población, muestra y materiales.

2.4.1.- Población

- Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta, año 2021.

2.4.2.- Muestra

- Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta.

2.4.3.- Materiales

Materiales	Cantidad	Unidad
Laptop	1	unid.
Cámara fotográfica	10	Mpx.
Probeta graduada	1.1	Litros
Cronómetro	1	unid.
Vertederos de material acrílico	9	unid.
Vertedero de material madera	1	unid.
Tanque receptor	75	Litros
Lapiceros	2	unid.
Calculadora científica	1	unid.
Tubo PVC 6"	1	unid.
Hojas bond A4	50	unid.
Lavatorio receptor	5	litros
Estaca	1	unid.

Tabla 10: Matriz de materiales.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.-Técnicas e instrumentación de recolección y análisis de datos

2.5.1.-Técnica de recolección de datos.

- Observación directa

Para (Torres M. , 2019), la observación directa es cuando el investigador toma directamente los datos de la población, sin necesidad de encuestas y entrevistas. En esta investigación se tomarán datos de los ensayos de manera directa, observando el comportamiento del vertedero hidráulico combinado 90°, insitu en un canal de riego en el Entorno rural del sector Quives km. 40 Lima – Canta.

2.5.2.-Instrumento de recolección de datos

Variable	Recolección de datos			
	Fuente	Técnica	Herramienta	Instrumento
Diseño de vertederos hidráulicos	Simulación en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte-sede Los Olivos.	Observación directa	-Probeta graduada.	
			-Contenedor de almacenamiento de agua 75L.	
Diseño de vertederos hidráulicos	Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima - Canta	Observación directa	-Cronómetro.	
			-Piezómetro.	
			-Canal de pendiente variable.	
			-Limnómetro.	
Diseño de vertederos hidráulicos	Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima - Canta	Observación directa	-Microsoft Excel.	
			-Vertederos de material de madera.	
			-Cronómetro.	
			-Limnómetro.	
Diseño de vertederos hidráulicos	Canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima - Canta	Observación directa	-Contenedor de almacenamiento de agua 75L.	

Tabla 11: Tabla de recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3.- Validación del instrumento de recolección de datos

2.5.3.1.- Guía de observación de la tabla del caudal (Q_m) vs altura (h^*) del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, (Anexo N° 2).

2.5.3.2.- Ficha de registro de observación para calcular el caudal real en el canal de pendiente variable, (Anexo N°3).

2.5.3.3.- Ficha de registro de observación para calcular los caudales teóricos y coeficientes de descarga en el canal de pendiente variable (Anexo N°4).

2.5.3.4.- Ficha de registro de observación para calcular el coeficiente de descarga en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, (Anexo N°5).

2.5.3.5.- Formato de registro de los volúmenes con el método volumétrico, (Anexo N°6)

2.5.4.- Análisis de datos

2.5.4.1.- Técnicas de análisis de datos

- Estadística descriptiva

Según (Barreto, 2012), los métodos estadísticos tradicionalmente se utilizan para propósitos descriptivos, es decir, para organizar y resumir los datos numéricos. La Estadística descriptiva, por ejemplo, trata de la tabulación de datos, su presentación en forma gráfica y el cálculo de medidas descriptivas. Así mismo (Barreto, 2012), define como estadística descriptiva a los métodos que implican recopilación, caracterización y presentación de un conjunto de datos con el único fin de describir sus características. Por lo tanto, la presente investigación es de diseño No experimental, transversal y descriptivo

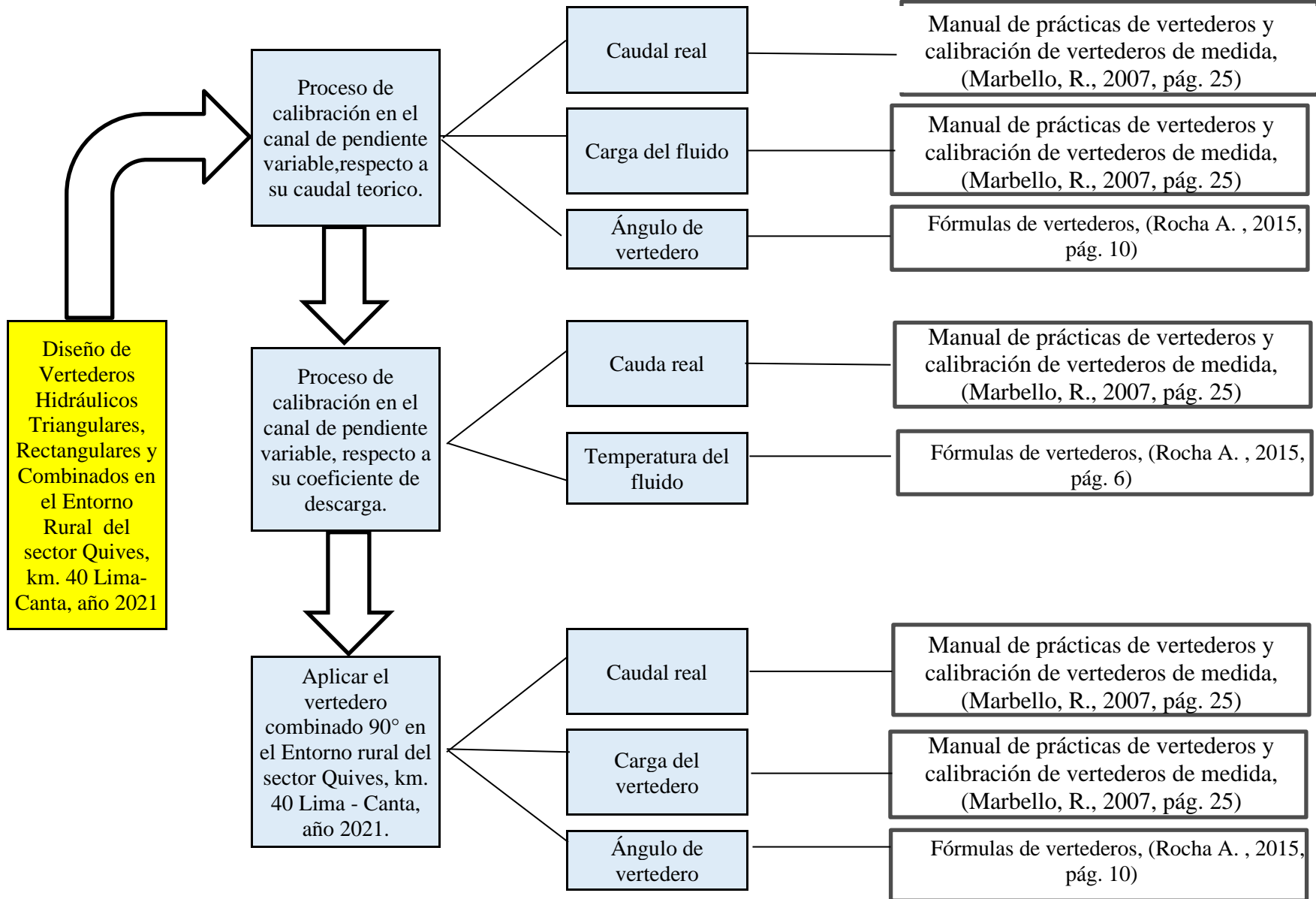
porque solo se realizará el estudio en un solo periodo de tiempo, donde se usarán tablas de registro de los indicadores como caudal, tiempo, volumen, coeficientes de descargas.

2.6. Procedimiento

2.6.1.- Cuadro sinóptico

Figura 16: Cuadro sinóptico.

Fuente: Elaboración propia.



2.6.2.- Dimensiones

2.6.2.1.- Caudal teórico del proceso de calibración.

2.6.2.1.1.- Caudal real

- Definición: El caudal es el volumen del fluido en litros, que atraviesa por una sección específica de un canal o río en un determinado tiempo en segundos, (Valencia, 2014).

2.6.2.1.2.- Pendiente longitudinal

La pendiente del canal, por lo general está dada por la topografía del canal y por la altura del nivel de la superficie libre del agua. En muchos casos, la pendiente depende del propósito del canal, por ejemplo, en los canales utilizados para propósitos de distribución de agua, como canal de riego, requieren de un alto nivel en el punto de entrega para el dominio de la superficie por regar, por lo que para estos casos es conveniente una pendiente pequeña para mantener el más mínimo posible las pérdidas de elevación. (Rodriguez P. , 2008, pág. 93).

2.6.2.1.3.- Distancia de la medición de la carga limnimétrica.

- Medición de la carga de vertedero de la cara del vertedero:

El medidor de la altura de carga (H), debe instalarse detrás del vertedero a una distancia mayor o igual a $4H$ para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida ella se acerca a la misma. (Lux, 2010, pág. 9)

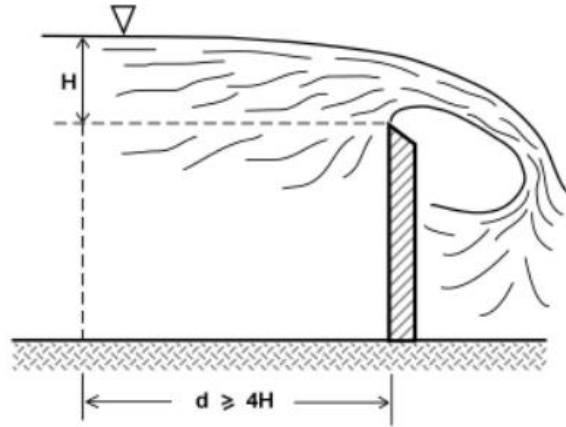


Figura 17: Vertedero de pared delgada.

Fuente: Medidores de flujo en canales abiertos, (Lux, 2010, pág. 9).

2.6.2.1.4.- Según el espesor de la pared

- Vertederos de pared delgada ($e / h < 0.67$). Se puede observar en la figura 18.a
- Vertederos de pared gruesa o de cresta ancha ($e / h \geq 0.67$). Se puede observar en la figura 18.b. (Marbello R. , 2007, pág. 9).

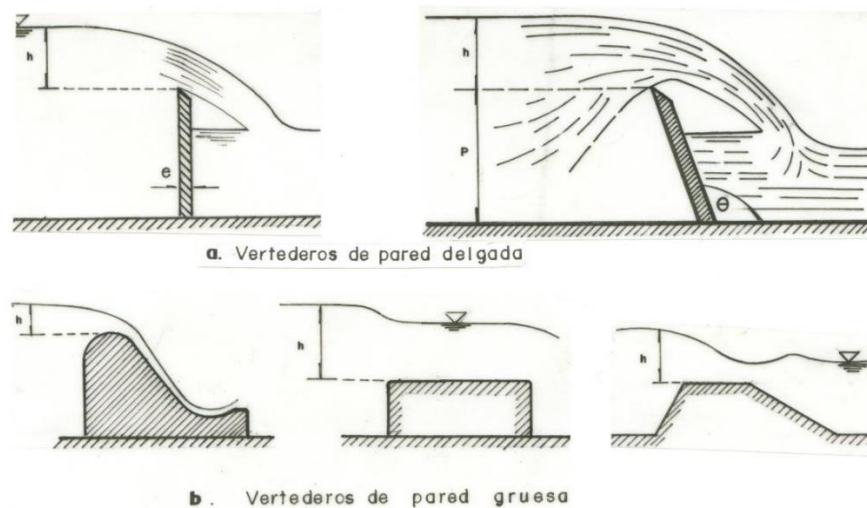


Figura 18: Tipos de vertederos según el espesor de la pared.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello R. , 2007, pág. 9).

2.6.2.1.5.- Según la longitud de la cresta

-Vertederos sin contracciones laterales ($b = B$). Se puede observar en la figura 19

-Vertederos con contracciones laterales ($b < B$). Se puede observar en la figura 19. (Marbello, R., 2007, pág. 12)

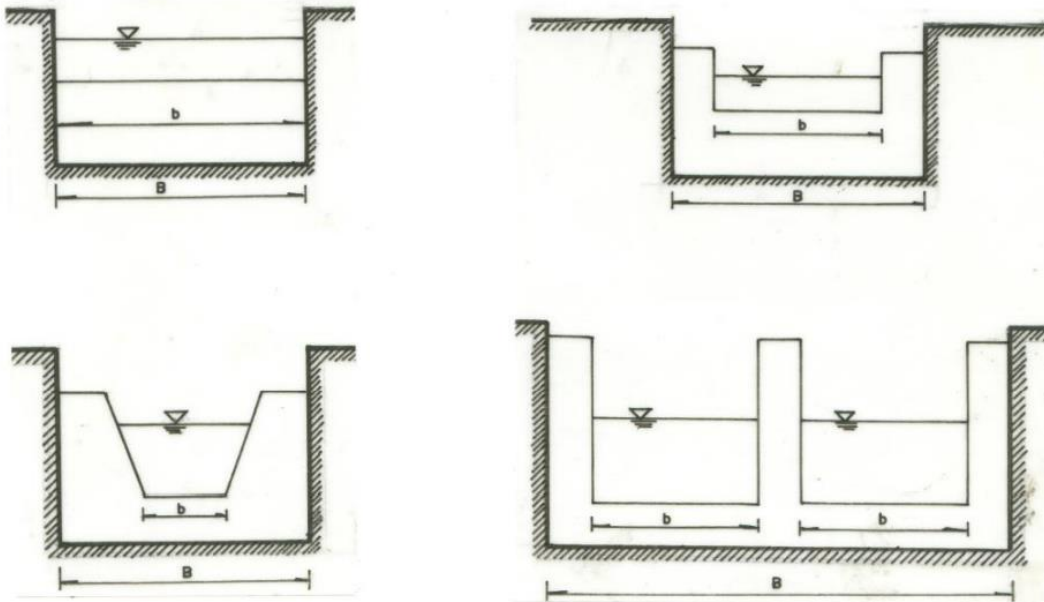


Figura 19: Diferentes vertederos con contracciones laterales.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida. (Marbello, R., 2007, pág. 12).

2.6.2.1.6.- Caudal teórico para la geometría de vertedero

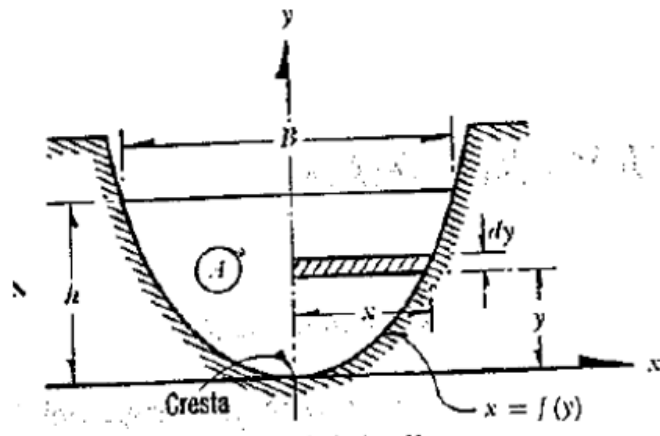


Figura 20: Vertedor de pared delgada de forma general.

Fuente: Sotelo Ávila, Gilberto. Hidráulica general. Vol. 1, p. 242.

$$Q_t = 2\sqrt{2} \int_0^h x(h - y)^{1/2} dy$$

Ecuación 2: Fórmula general del gasto total

Fuente: Sotelo Ávila, Gilberto. Hidráulica general. Vol. 1, p. 242.

2.6.2.1.7.- Caudal teórico para vertedero rectangular

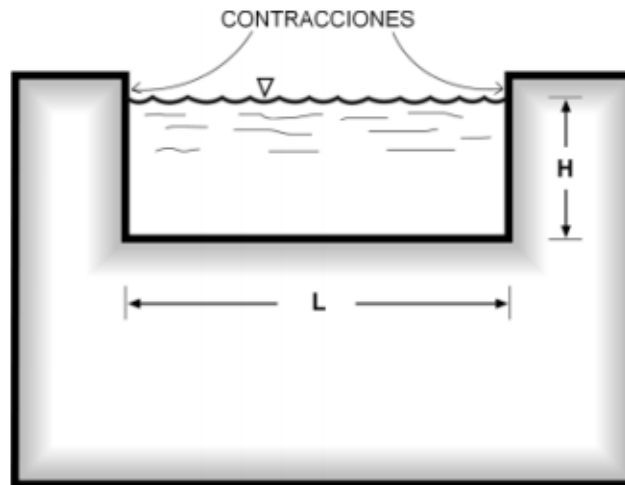


Figura 21: Flujo a través de un vertedero rectangular de pared delgada.

Fuente: Medidores de flujo en canales abiertos, (Lux, 2010, pág. 16).

- De la ec. 2 se tiene:

$$Q_{\tau} = 2\sqrt{2g} \int_0^h x(H-y)^{\frac{1}{2}} dy$$

- Cambio de variable:

$$u = H - y$$

$$du = -dy$$

$$Q_{\tau} = -2\sqrt{2g} \int_0^H \frac{L}{2} * (u)^{\frac{1}{2}} du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \frac{L}{2} \cdot u^{3/2} \cdot \frac{2}{3} \Big|_0^H$$

- Reemplazando u por (h-y):

$$Q_t = -\frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot (H - y)^{\frac{3}{2}} \Big|_0^H$$

$$Q_t = -\frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot [0 - H]^{\frac{3}{2}}$$

$$Q_t = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación 3: Ecuación general del Caudal teórico de un vertedero rectangular sin contracciones laterales.

Fuente: Fórmula de vertederos, (Rocha A. , 2015, pág. 6).

- Ecuación general del caudal real del vertedero rectangular sin contracciones laterales.

El caudal real se obtiene multiplicando el caudal teórico por el correspondiente coeficiente de descarga, Cd, así:

$$Q_{real} = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Ecuación 4: Ecuación general del Caudal real de un vertedero rectangular.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 17).

2.6.2.1.8.- Vertederos rectangulares con contracciones laterales.

Según (Marbello, R., 2007, pág. 20) asegura que, si el vertedero está limitado lateralmente, como ocurre, por ejemplo, cuando es un simple recorte rectangular en una pared vertical, la lámina vertiente experimenta una contracción lateral que da por resultado un menor caudal por unidad de longitud de la cresta del vertedero, debido a que la longitud efectiva de la cresta se disminuye, para dos contracciones laterales.

$$L' = L - \frac{2H}{10}$$

Ecuación 5: Disminución por contracciones laterales.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 20).

- Luego, para vertederos rectangulares de pared delgada y con dos contracciones laterales, sigue siendo válida la ec. 4, reemplazando L por $L' = L - 2H / 10$.
- Ecuación general del caudal real del vertedero rectangular con contracciones laterales

$$Q_{\text{real}} = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \left(L - \frac{2H}{10} \right) \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

Ecuación 6: Caudal real del vertedero rectangular con contracciones laterales

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 20).

2.6.2.1.9.- Caudal teórico para un vertedero triangular

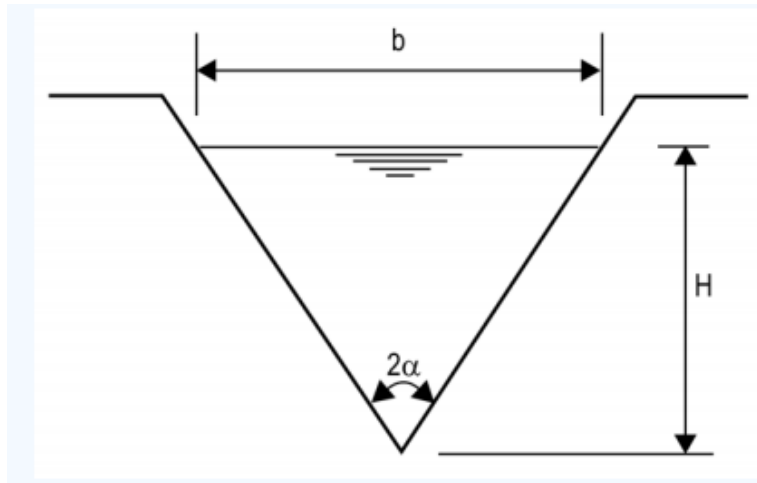


Figura 22: Vertedero triangular de pared delgada.

Fuente: Fórmula de vertederos, (Rocha A. , 2015, pág. 10).

De la ec. 2:

$$Q\tau = 2\sqrt{2g} \int_0^h x(H-y)^{\frac{1}{2}} dy$$

Se sabe que;

$$\tan(\theta/2) = \frac{x}{y}$$

$$x = y \cdot \tan(\theta / 2)$$

$$Q_t = 2\sqrt{2g} \cdot \left[\int_0^h \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot y \cdot (H-y)^{1/2} \cdot dy \right]$$

Cambio de variable:

$$y = H - u \quad ; \quad H - y = u$$

$$dy = - du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \int_0^H (H - u) \cdot u^{\frac{1}{2}} \cdot du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \int_0^H \left(H \cdot u^{\frac{1}{2}} - (u)^{\frac{3}{2}}\right) du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left[H \cdot u^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{2}{3} - (u)^{\frac{5}{2}} \cdot \frac{2}{5} \right]_0^H$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left[H(H - y)^{3/2} \cdot \frac{2}{3} - (H - y)^{\frac{5}{2}} \cdot \frac{2}{5} \right]_0^H$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left\{ 0 - \left[\left(\frac{2}{3} \cdot H^{5/2}\right) - \left(\frac{2}{5} \cdot H^{5/2}\right) \right] \right\}$$

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación 7: Caudal teórico del vertedero triangular.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 25).

➤ Ecuación general del caudal real del vertedero triangular

El caudal real se obtiene multiplicando el caudal teórico por el correspondiente coeficiente de descarga, C_d , así:

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación 8: Caudal real del vertedero triangular.

Fuente: Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 25).

2.6.2.2.- Coeficiente de Descarga (coeficiente de gasto)

- Definición: Según (Almeida , 2009, pág. 37) asegura que el coeficiente de descarga es la relación entre el caudal real y el caudal teórico, afirmando que si los vertederos presentan un coeficiente de descarga alto, significa que la pérdida de carga es pequeña. Si el vertedero rectangular tiene coeficientes de descargas más altos que el vertedero triangular, es decir para un mismo caudal grande en ambos casos, el vertedero rectangular producirá menor carga, aguas arriba.

$$C_d = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{teorico}}}$$

Ecuación 9: Fórmula de coeficiente de descarga.

Fuente : Vertederos y calibración de vertederos de medida, (Marbello, R., 2007, pág. 15).

2.7- Desarrollo de tesis

Para este proyecto cabe mencionar que se buscó un tipo de geometría de vertedero que sea el más adecuado para medir caudales pequeños y grandes. Así mismo (Marbello, R., 2007), asegura que para medir pequeños gastos, el vertedero triangular es el más preciso que el rectangular, puesto que, para un mismo caudal, los valores de “h” son mayores.

Según (Almeida , 2009) precisa que el vertedero rectangular tiene coeficientes de descargas más elevados que el vertedero triangular, es decir si se tiene un mismo caudal grande en los dos casos, el vertedero rectangular producirá menor remanso aguas arriba. Por lo cual se diseñó un tipo de vertedero con ambas figuras geométricas y fue un tipo de vertedero combinado, donde se escogió al vertedero combinado que generó menos pérdida de carga o energía por varios factores como temperatura del agua, peralte, ángulo, etc, para ello se observó al que tenía mayor coeficiente de descarga en el laboratorio de la Universidad Privada del norte -sede Los Olivos, para luego aplicarlo en un canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, Km. 40 Lima-Canta.

2.7.1.- Proceso de calibración en el canal de pendiente, respecto a su caudal teórico.

2.7.1.1.-Informacion básica

2.7.1.1.1.- Ubicación geográfica

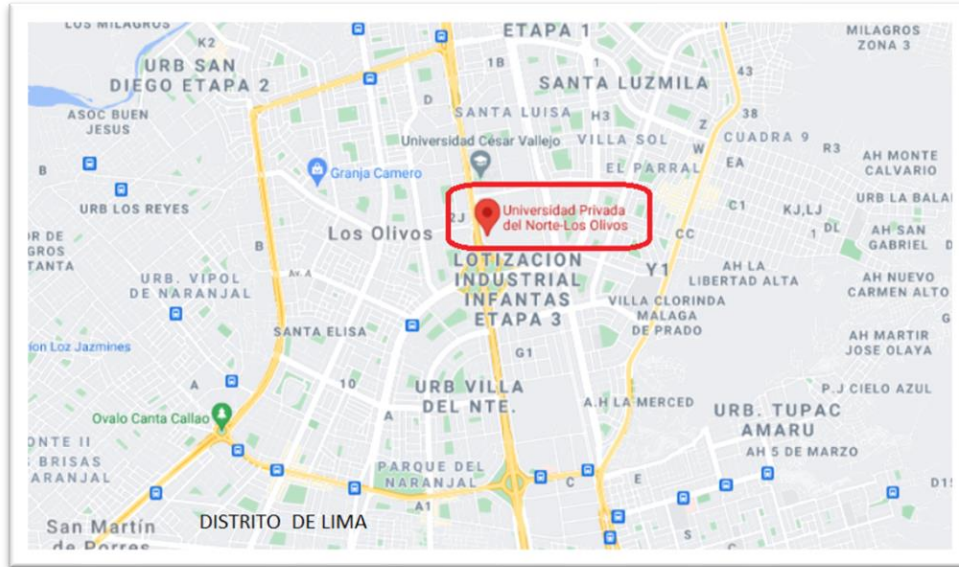


Figura 23: Mapa de la ubicación del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Google maps, 2021.

Lugar:	Universidad Privada del Norte.
Dirección:	Av. Alfredo Mendiola 6062.
Distrito:	Los Olivos.
Referencia:	Cruce de la Av. Universitaria con la Av. Panamericana Norte.
Coordenadas:	Oeste: -11.95890 Sur: -77.06811
Altitud:	75 msnm

Tabla 12: Datos de ubicación de la universidad Privada del Norte.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.2.- Pasos para obtener el caudal real en el canal de pendiente variable

Antes de haber calculado los caudales teóricos , se calcularon los caudales reales, los cuales se realizaron en el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos , primero se calibró el vertedero triangular metálico $53^{\circ} 08'$ que se encontraba ubicado a 3m de dicho canal, pasando por una serie de paredes donde ocurría pequeñas filtraciones de agua, es por ello que no se pudo tomar en cuenta los mismos caudales del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$ que se encontraban en el laboratorio de hidráulica mostrado en la tabla del **Anexo N°2** para determinar los caudales reales que atraviesa por el canal de pendiente variable . Luego esa tabla sirvió como guía de observación para ajustar datos como la altura h^* ubicados también en el **Anexo N°2** y en el piezómetro, mediante el programa Excel, con los caudales reales que atravesaron por el canal de pendiente variable obtenidos mediante el método volumétrico mostrado en el **Anexo N°6**.

PASO 1: Se fabricó el lavatorio receptor de 5L de agua que conecta el canal de pendiente variable con el tubo de 6” de diámetro, donde se realizará el método volumétrico.



Figura 24: Fabricación del lavatorio receptor.

Fuente : Elaboración propia.

PASO 2: Se calibró de volúmenes en el contenedor de almacenamiento de agua de 75 L, con una probeta graduada.



Figura 25: Calibración de volúmenes en el contenedor de almacenamiento de agua de 75 L con una probeta graduada.

Fuente : Elaboración propia.



Figura 26: Calibración de volúmenes en el contenedor de almacenamiento de agua de 75L con una probeta graduada (toma cerca).

Fuente : Elaboración propia.

PASO 3: Se construyó un Tubo de conexión PVC de 6", conectado al lavatorio receptor de agua 5L, por donde atravesaba el agua que venía del canal de pendiente variable hacia el contenedor de almacenamiento de agua de 75L, donde se obtuvo los caudales reales (litros/segundos) que atravesaron en el canal de pendiente variable, mediante el método volumétrico, tomando los volúmenes (litros) en el contenedor de almacenamiento de agua y el tiempo (segundos) mediante un cronómetro.

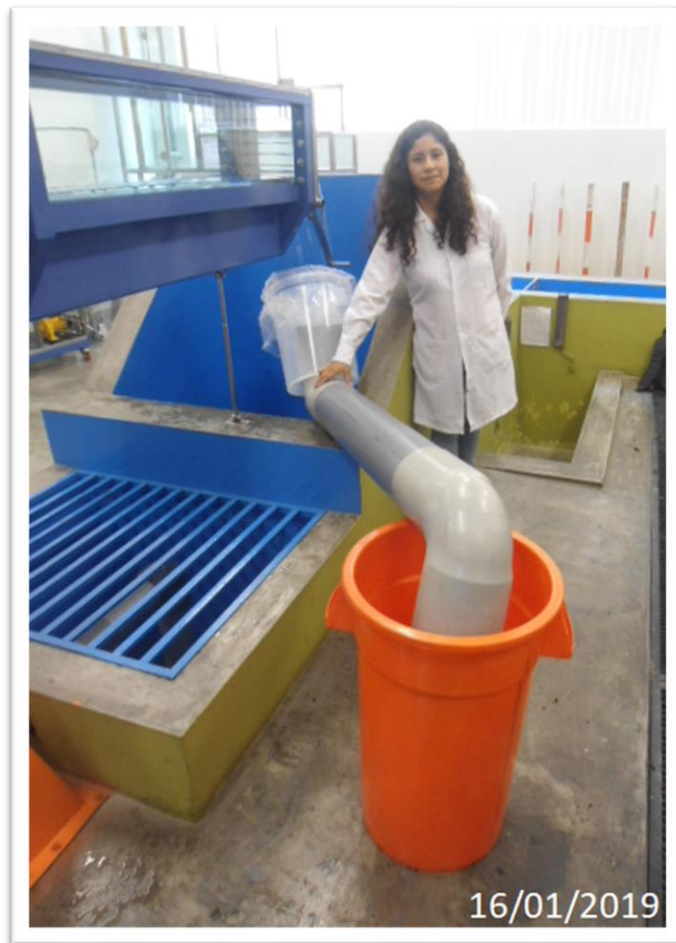


Figura 27: Parte final del Tubo de conexión PVC de 6".

Fuente: Elaboración propia.

PASO 4: Se calibraron datos del vertedero metálico triangular $53^{\circ}08'$ con el canal de pendiente variable.

- El agua después de haber salido del canal de pendiente variable de 5m de longitud, que atravesó por una serie de paredes donde ocurría pequeñas filtraciones de agua, luego llegó al vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$ mostrado en la siguiente figura, que se encontraba ubicado a 3m terminando el canal de pendiente variable, en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

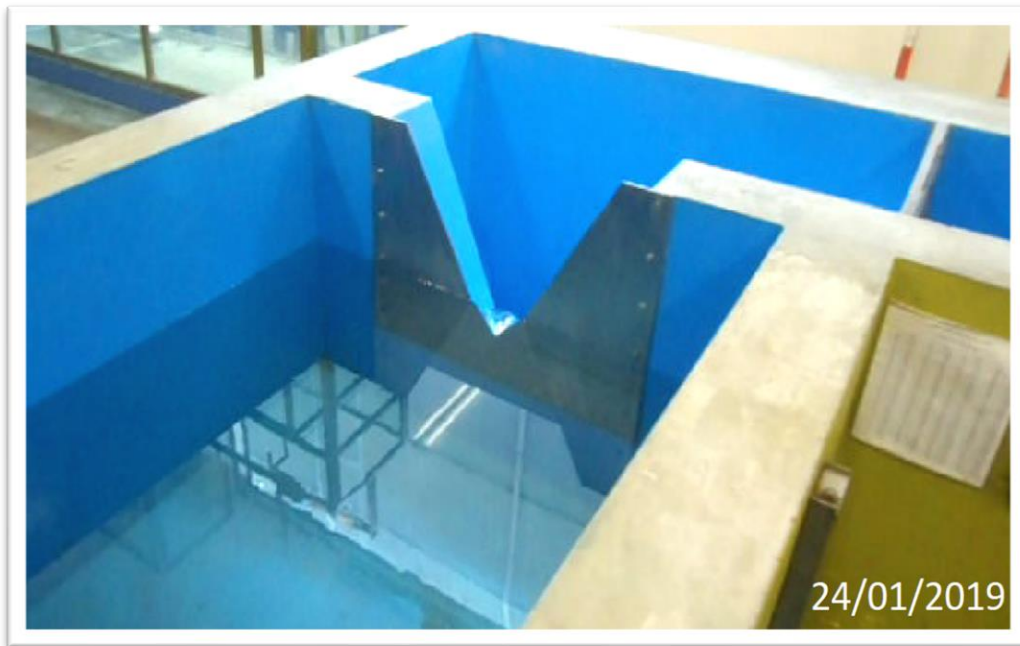


Figura 28: Vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego se seleccionaron ocho datos de las alturas h^* de la tabla del vertedero metálico triangular $53^{\circ}08'$ mostrado en el **Anexo N°2**, para haber sido regulado en el medidor de caudales y calibrado en el piezómetro mostrado.



Figura 29: Medidor de caudales en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

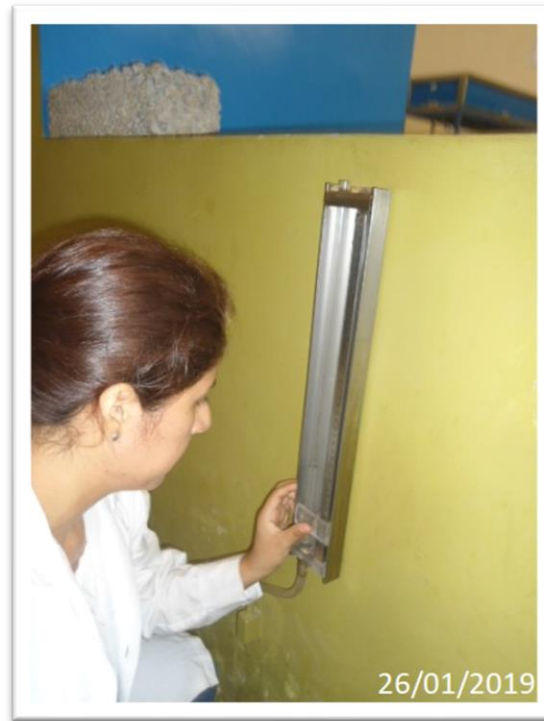


Figura 30: Piezómetro en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

- Mediante los datos obtenido en el **Anexo N°3**, se consiguió una ecuación del caudal real en el canal de pendiente variable Q_{rp}^* .

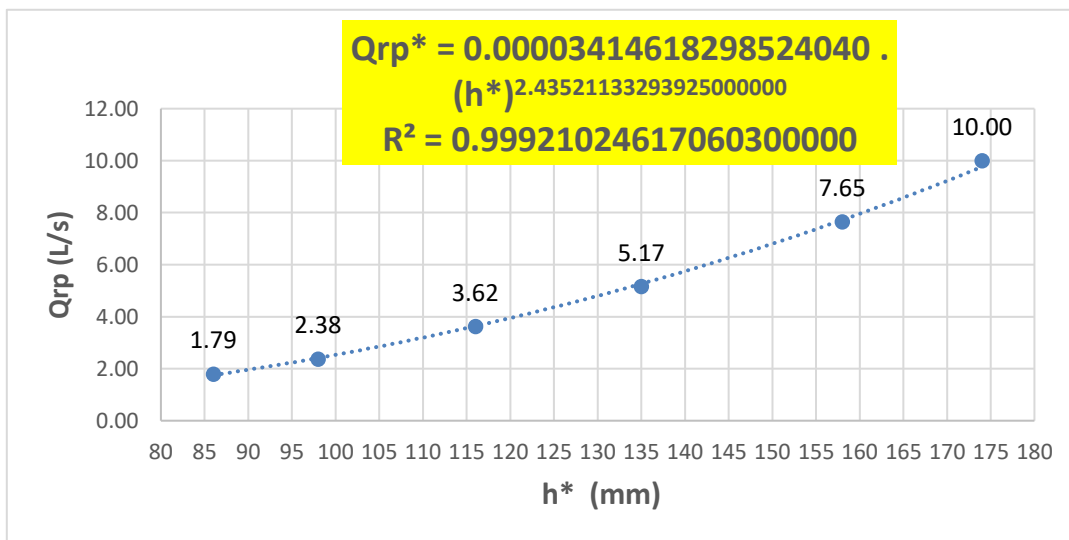


Figura 31: Caudal real calibrado (Q_{rp}) vs altura de vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$ (h^*).

Fuente : Elaboración propia.

$$Q_{rp}^* = 0.00003414618298524040 \cdot (h^*)^{2.43521133293925000000}$$

$$R^2 = 0.99921024617060300000$$

Ecuación 10: Ecuación general del caudal real en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Q_{rp}^* = Caudal real calibrado en el canal de pendiente variable.

R^2 = Coeficiente de correlación

2.7.1.3.- Pasos para obtener el caudal teórico

PASO 1: Fabricación de vertederos rectangular, triangulares y combinados de 15°,45°, 60° y 90°, para obtener el caudal teórico medido en el canal de pendiente variable.

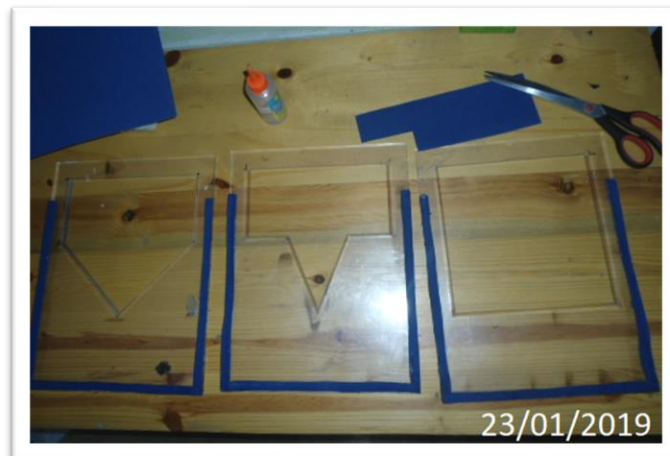


Figura 32: Vertederos de material acrílico.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 2: Espesor de pared de vertedero

Se sabe que:

- Vertederos de pared delgada ($e / h < 0.67$).
- Vertederos de pared gruesa o de cresta ancha ($e / h \geq 0.67$).

➤ Para este proyecto:

- Espesor de vertedero (e) = 0.005m
- Carga máxima del fluido (h_{max})=0.186m
- $e/h_{max} = 0.027 < 0.67$ (pertenece a un vertedero de pared delgada)

PASO 3: Medición de la carga de fluido aguas arriba, a 10cm de la cara del vertedero.



Figura 33: Distancia limnimétrica a 10cm del vertedero.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 4: Se colocaron las cargas, aguas arriba, medidas en los vertederos rectangular, triangulares y combinados de 15°, 45°, 60° y 90° de material acrílico en la ficha de registro de observación, mostrada en el **Anexo N°4**.



Figura 34: Recolección de datos en la ficha de registro de observación, Anexo N°4.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.4.-Caudales teóricos del vertedero rectangular

PASO 1: Dimensiones del vertedero rectangular

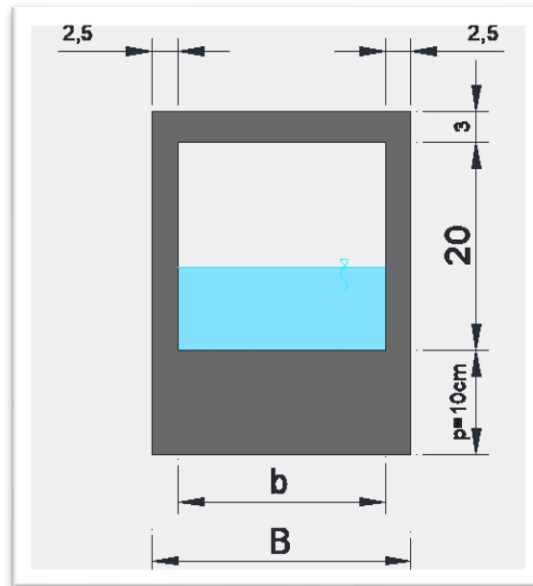


Figura 35: Vertedero rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $N = 2$; Número de contracciones.
- $b = 20$ cm ; Ancho de la cresta del vertedero
- $B = 25$ cm; Ancho del canal.
- $p = 10$ cm ; peralte

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec.10.

- Ecuación general del caudal teórico de un vertedero rectangular con contracciones laterales.

De la ec. 6:

$$Q_t = \frac{2}{3} \cdot \left(b - \frac{2H}{10} \right) \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

- Q = Caudal teórico
- b =Ancho de cresta de vertedero
- H =Carga del fluido aguas arriba.
- g = Gravedad
- N = Numero de contracciones; $N=2$

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'	Pendiente (s)	Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable Qrp*	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
	Caudal referencial promedio Qm		Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	H-p=h (mm)	H-p=h (m)	(m3/s)	(L/s)
I	1.3	1%	79	1.42714	RECTANGULAR	128	100	28	0.028	0.0027	2.6896
		2%	81	1.51672		127	100	27	0.027	0.0025	2.5495
		4%	83	1.60954		127	100	27	0.027	0.0025	2.5495
II	2.98	1%	112	3.33904	RECTANGULAR	148	100	48	0.048	0.0059	5.9127
		2%	113	3.41210		147	100	47	0.047	0.0057	5.7349
		4%	114	3.48610		144	100	44	0.044	0.0052	5.2110
III	3.49	1%	120	3.94992	RECTANGULAR	151	100	51	0.051	0.0065	6.4552
		2%	121	4.03055		150	100	50	0.05	0.0063	6.2729
		4%	120	3.94992		148	100	48	0.048	0.0059	5.9127
IV	4.5	1%	133	5.07423	RECTANGULAR	160	100	60	0.06	0.0082	8.1591
		2%	133	5.07423		158	100	58	0.058	0.0078	7.7711
		4%	134	5.16764		156	100	56	0.056	0.0074	7.3883
V	5.55	1%	145	6.26224	RECTANGULAR	165	100	65	0.065	0.0092	9.1510
		2%	145	6.26224		165	100	65	0.065	0.0092	9.1510
		4%	145	6.26224		162	100	62	0.062	0.0086	8.5522
VI	6.59	1%	155	7.36653	RECTANGULAR	170	100	70	0.07	0.0102	10.1723
		2%	156	7.48280		170	100	70	0.07	0.0102	10.1723

		4%	156	7.48280			167	100	67	0.067	0.0096	9.5561
VII	7.54	1%	164	8.45191	RECTANGU LAR		174	100	74	0.074	0.0110	11.0090
		2%	164	8.45191			174	100	74	0.074	0.0110	11.0090
		4%	164	8.45191			171	100	71	0.071	0.0104	10.3799
		1%	173	9.62626		RECTANGU LAR		180	100	80	0.08	0.0123
2%	173	9.62626		179	100		79	0.079	0.0121	12.0778		
4%	172	9.49131		176	100		76	0.076	0.0114	11.4335		

Tabla 13: Caudales teóricos del vertedero rectangular en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.5.-Caudales teóricos del vertedero triangular 15°

PASO 1: Dimensiones del vertedero triangular 15°

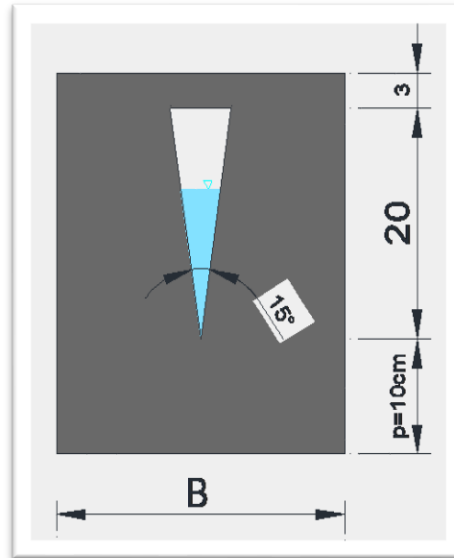


Figura 36: Vertedero triangular 15°

Fuente : Elaboracion propia.

Donde:

- $B= 25\text{cm}$; Ancho del canal
- $p= 10\text{cm}$; Peralte
- $\theta=15^\circ$; Angulo de vertedero

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero triangular.

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad \text{ec. 7}$$

				Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable													
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable		Carga Total (H)		Peralte (p)		Carga del fluido, aguas arriba (h)		Carga del fluido, aguas arriba (h)		Caudal teórico (Qt)		Caudal teórico (Qt)	
N° ensa yo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendien te (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'(h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10		Tipo de vertedero de material acrílico	(mm)	(mm)	H-p=h (mm)	H-p=h (m)	(m3/s)	(L/s)	(m3/s)	(L/s)	(m3/s)	(L/s)	
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)													
I	1.3	1%	79	1.42714		TRIANGULAR 15°	208	100	108	0.108	0.0012	1.1922					
		2%	81	1.51672			213	100	113	0.113	0.0013	1.3350					
		4%	83	1.60954			210	100	110	0.11	0.0012	1.2481					
II	2.98	1%	112	3.33904		TRIANGULAR 15°	282	100	182	0.182	0.0044	4.3950					
		2%	113	3.41210			282	100	182	0.182	0.0044	4.3950					
		4%	114	3.48610			279	100	179	0.179	0.0042	4.2161					

Tabla 14: Caudales teóricos del vertedero triangular 15° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.6.- Caudales teóricos del vertedero triangular 45°

PASO1: Dimensiones del vertedero triangular 45°

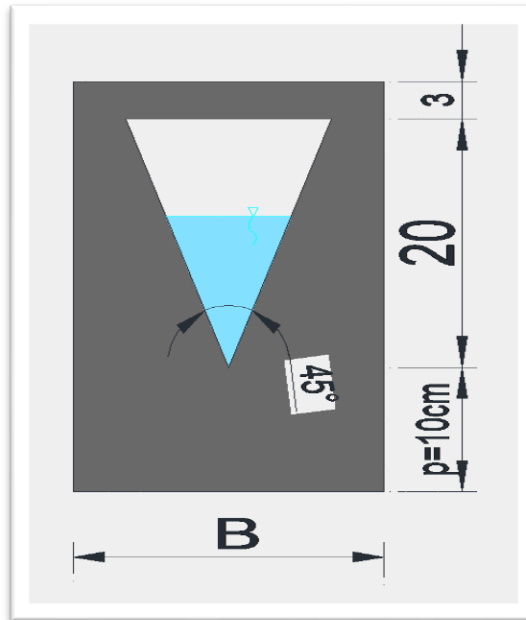


Figura 37: Vertedero triangular 45°

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $B= 25\text{cm}$; Ancho del canal
- $p= 10\text{cm}$; Peralte
- $\theta=45^\circ$; Angulo de vertedero

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero triangular.

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad \text{ec.7}$$

					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable							
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec.10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	H-p=h (mm)	H-p=h (m)	(m3/s)	(L/s)
I	1.3	1%	79	1.43	TRIANGULAR 45°	178	100	78	0.078	0.0017	1.6627
		2%	81	1.52		181	100	81	0.081	0.0018	1.8272
		4%	83	1.61		183	100	83	0.083	0.0019	1.9421
II	2.98	1%	112	3.34	TRIANGULAR 45°	213	100	113	0.113	0.0042	4.2002
		2%	113	3.41		214	100	114	0.114	0.0043	4.2937
		4%	114	3.49		216	100	116	0.116	0.0045	4.4845
III	3.49	1%	120	3.95	TRIANGULAR 45°	229	100	129	0.129	0.0058	5.8485
		2%	121	4.03		230	100	130	0.13	0.0060	5.9625
		4%	120	3.95		229	100	129	0.129	0.0058	5.8485
IV	4.5	1%	133	5.07	TRIANGULAR 45°	244	100	144	0.144	0.0077	7.6998
		2%	133	5.07		245	100	145	0.145	0.0078	7.8342
		4%	134	5.17		243	100	143	0.143	0.0076	7.5668
V	5.55	1%	145	6.26	TRIANGULAR 45°	258	100	158	0.158	0.0097	9.7099
		2%	145	6.26		257	100	157	0.157	0.0096	9.5570
		4%	145	6.26		255	100	155	0.155	0.0093	9.2555
VI	6.59	1%	155	7.37	TRIANGULAR 45°	268	100	168	0.168	0.0113	11.3200
		2%	156	7.48		267	100	167	0.167	0.0112	11.1523
		4%	156	7.48		265	100	165	0.165	0.0108	10.8214
VII	7.54	1%	164	8.45	TRIANGULAR 45°	276	100	176	0.176	0.0127	12.7161
		2%	164	8.45		275	100	175	0.175	0.0125	12.5363
		4%	164	8.45		273	100	173	0.173	0.0122	12.1811

VIII	8.59	1%	173	9.63	TRIANGULAR 45°	286	100	186	0.186	0.0146	14.6001
		2%	173	9.63		285	100	185	0.185	0.0144	14.4046
		4%	172	9.49		283	100	183	0.183	0.0140	14.0185

Tabla 15: Caudales teóricos del vertedero triangular 45° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte-sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.7.- Caudales teóricos del vertedero triangular 60°

PASO1: Dimensiones del vertedero triangular 60°

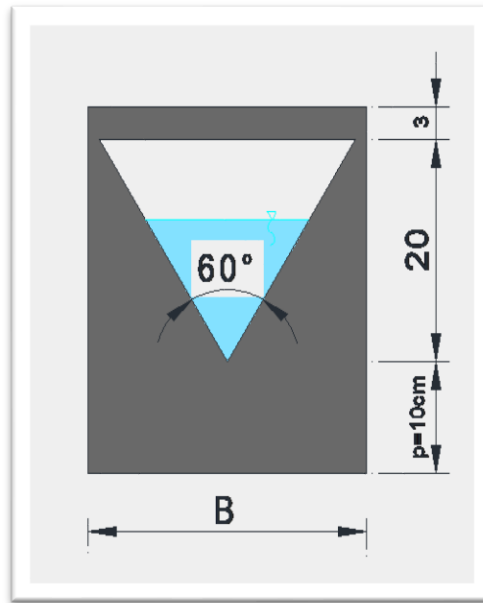


Figura 38: Vertedero triangular 60°

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- $B= 25\text{cm}$; Ancho del canal
- $p= 10\text{cm}$; Peralte
- $\theta=60^\circ$; Angulo de vertedero

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero triangular.

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad \text{ec.7}$$

					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08"		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable							
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec.10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)				H-p=h (mm)	H-p=h (m)		
I	1.3	1%	79	1.43	TRIANGULAR 60°	171	100	71	0.071	0.0018	1.8320
		2%	81	1.52				74	0.074	0.0020	2.0317
		4%	83	1.61				76	0.076	0.0022	2.1718
II	2.98	1%	112	3.34	TRIANGULAR 60°	195	100	95	0.095	0.0038	3.7940
		2%	113	3.41				96	0.096	0.0039	3.8946
		4%	114	3.49				95	0.095	0.0038	3.7940
III	3.49	1%	120	3.95	TRIANGULAR 60°	213	100	113	0.113	0.0059	5.8544
		2%	121	4.03				113	0.113	0.0059	5.8544
		4%	120	3.95				112	0.112	0.0057	5.7258
IV	4.5	1%	133	5.07	TRIANGULAR 60°	229	100	129	0.129	0.0082	8.1520
		2%	133	5.07				126	0.126	0.0077	7.6862
		4%	134	5.17				125	0.125	0.0075	7.5346
V	5.55	1%	145	6.26	TRIANGULAR 60°	239	100	139	0.139	0.0098	9.8248
		2%	145	6.26				136	0.136	0.0093	9.3033
		4%	145	6.26				136	0.136	0.0093	9.3033
VI	6.59	1%	155	7.37	TRIANGULAR 60°	246	100	146	0.146	0.0111	11.1089
		2%	156	7.48				146	0.146	0.0111	11.1089
		4%	156	7.48				144	0.144	0.0107	10.7323
VII	7.54	1%	164	8.45	TRIANGULAR 60°	255	100	155	0.155	0.0129	12.9008
		2%	164	8.45				153	0.153	0.0125	12.4887
		4%	164	8.45				152	0.152	0.0123	12.2856

VIII	8.59	1%	173	9.63	TRIANGULAR 60°	263	100	163	0.163	0.0146	14.6304
		2%	173	9.63		261	100	161	0.161	0.0142	14.1857
		4%	172	9.49		258	100	158	0.158	0.0135	13.5341

Tabla 16: Caudales teóricos del vertedero triangular 60° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.8.- Caudales teóricos del vertedero triangular 90°

PASO 1: Dimensiones del vertedero triangular 90°

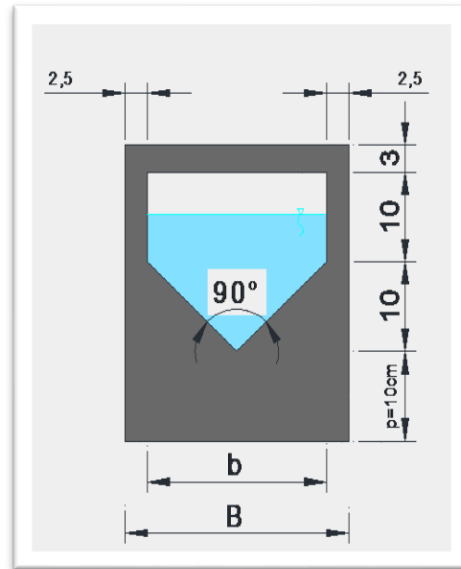


Figura 39: Vertedero triangular 90°

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$B = 25\text{cm}$; Ancho del vertedero.

$p = 10\text{cm}$; Peralte

$\theta = 90^\circ$; Angulo de vertedero

PASO 2: Cálculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero triangular.

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot H \quad \text{ec. 7}$$

Tabla 17: Caudales teóricos del vertedero triangular 90° en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable							
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)							(%)	(mm)		
I	1.3	1%	79	1.43	TRIANGULAR 90°	160	100	60	0.06	0.0021	2.0832
		2%	81	1.52		161	100	61	0.061	0.0022	2.1711
		4%	83	1.61		162	100	62	0.062	0.0023	2.2611
II	2.98	1%	112	3.34	TRIANGULAR 90°	178	100	78	0.078	0.0040	4.0141
		2%	113	3.41		177	100	77	0.077	0.0039	3.8866
		4%	114	3.49		177	100	77	0.077	0.0039	3.8866
III	3.49	1%	120	3.95	TRIANGULAR 90°	189	100	89	0.089	0.0056	5.5824
		2%	121	4.03		190	100	90	0.09	0.0057	5.7406
		4%	120	3.95		189	100	89	0.089	0.0056	5.5824
IV	4.5	1%	133	5.07	TRIANGULAR 90°	201	100	101	0.101	0.0077	7.6586
		2%	133	5.07		202	100	102	0.102	0.0078	7.8496
		4%	134	5.17		201	100	101	0.101	0.0077	7.6586

2.7.1.9.-Caudal teórico del vertedero combinado

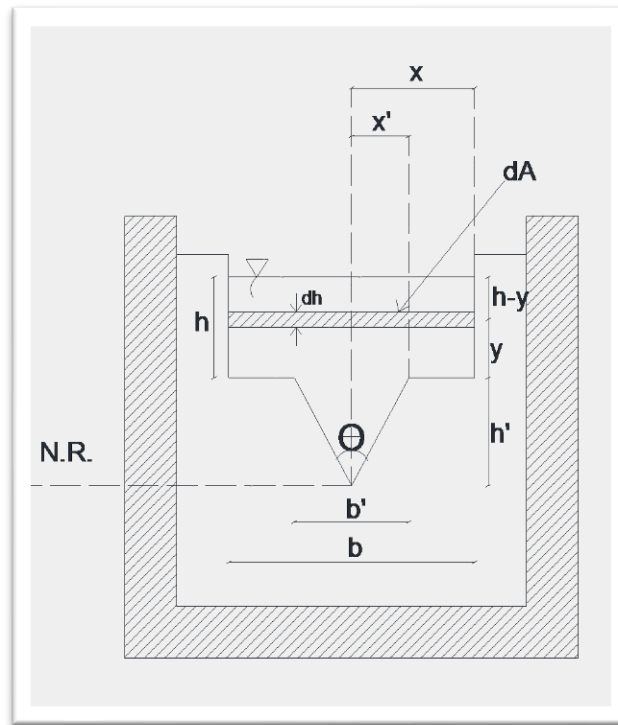


Figura 40: Flujo a través de un vertedero combinado.

Fuente: Elaboración propia.

De la ec. 2 se sabe que:

$$Q_t = 2\sqrt{2} \int_0^h x(h-y)^{1/2} dy$$

✓ **CASO 1**

$$h \leq p$$

h = variable

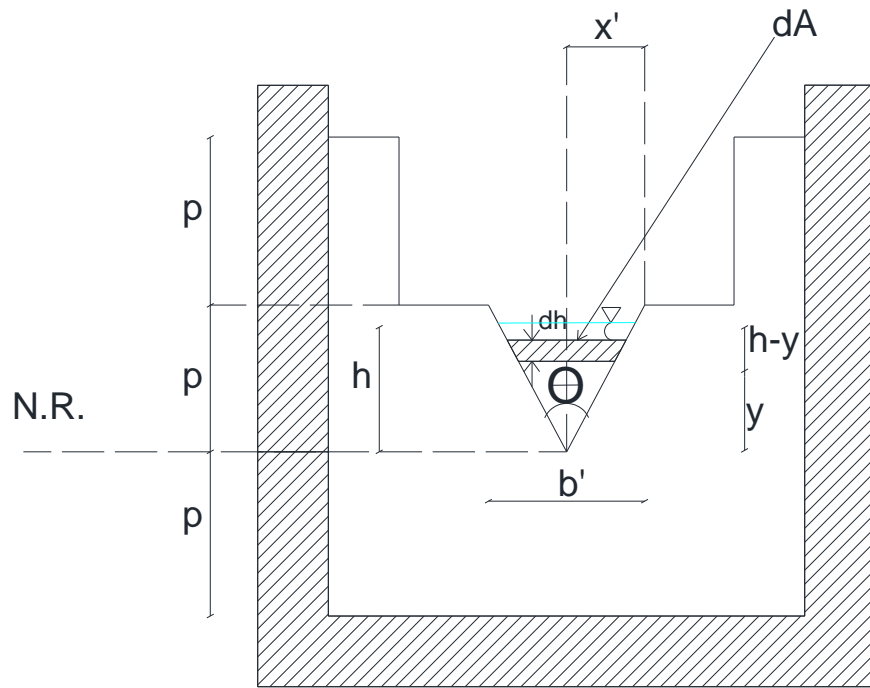


Figura 41: Vertedero combinado, CASO 1.

Fuente: Elaboración propia.

Se medirá como un vertedero triangular y su fórmula será:

$$Q_t = 2\sqrt{2} \int_0^h x'(h-y)^{1/2} dy$$

Se sabe que,

$$\tan(\theta/2) = \frac{x'}{y}$$

$$x' = y \cdot \tan(\theta / 2)$$

$$Q_t = 2\sqrt{2g} \cdot \left[\int_0^h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot y \cdot (h - y)^{1/2} \cdot dy \right]$$

Cambio de variable:

$$y = h - u \quad ; \quad h - y = u$$

$$dy = - du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \int_0^h (h - u) \cdot u^{1/2} \cdot du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \int_0^h \left(h \cdot u^{1/2} - (u)^{3/2} \right) du$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left[h \cdot u^{3/2} \cdot \frac{2}{3} - (u)^{5/2} \cdot \frac{2}{5} \right]_0^h$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left[h(h-y)^{3/2} \cdot \frac{2}{3} - (h-y)^2 \cdot \frac{2}{5} \right]_0^h$$

$$Q_t = -2\sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left\{ 0 - \left[\left(\frac{2}{3} \cdot (h)^{5/2}\right) - \left(\frac{2}{5} \cdot (h)^{5/2}\right) \right] \right\}$$

➤ Ecuación general teórica del vertedero combinado, hasta la zona triangular

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h)^{5/2}$$

Ecuación 11: Caudal teórico general del vertedero combinada hasta la zona triangular.

Fuente: Elaboración propia

✓ **CASO 2**

Para:

$h > p$

$h' = p = \text{constante.}$

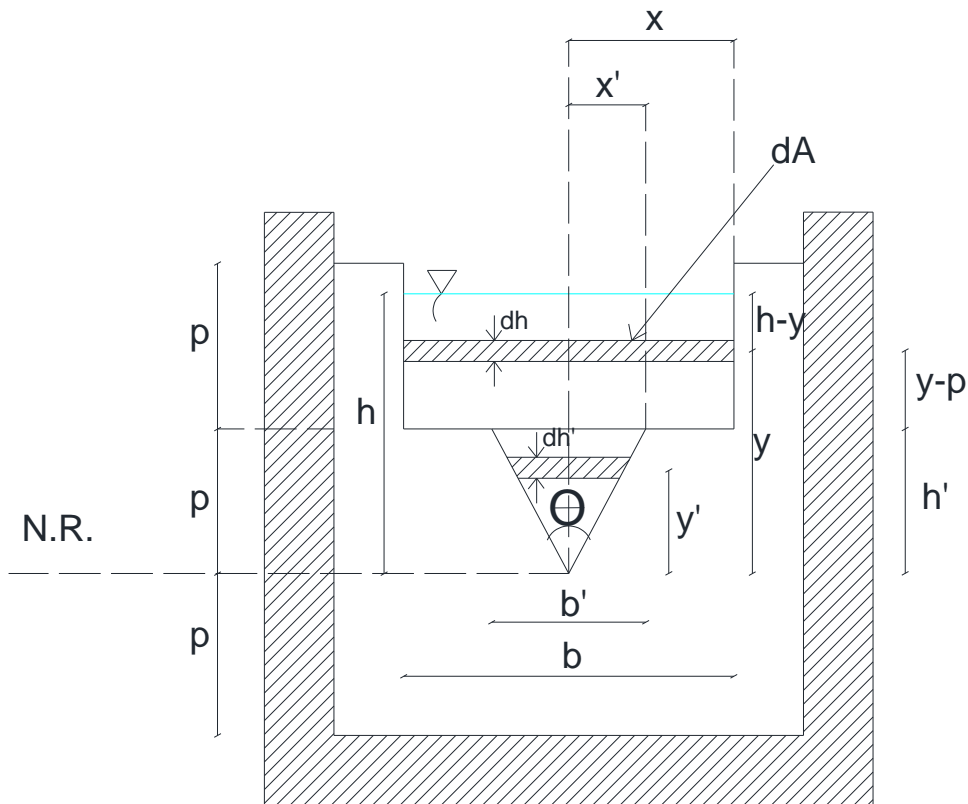


Figura 42: Vertedero combinado, CASO 2.

Fuente : Elaboración propia.

De la ec. 2 se sabe que el caudal teórico general es:

$$Q_t = 2\sqrt{2} \int_0^h x(h-y)^{1/2} dy$$

- Para la zona triangular:

Se procedió a calcular el caudal teórico con la formula general de un vertedero triangular con toda la altura de la zona triangular, ya que acaparó toda la zona.

- Para la zona rectangular

Se hará un cambio de variable:

$$h - y = u$$

$$-dy = du$$

Reemplazando;

$$Qt. \text{ total} = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} - \left(2\sqrt{2g} \cdot \int_0^{h-h'} \frac{b}{2} \cdot (u)^{\frac{1}{2}} \cdot du \right)$$

$$Qt. \text{ total} = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} - \left(2\sqrt{2g} \cdot \frac{b}{3} \cdot u^{\frac{3}{2}} \Big|_0^{h-h'} \right)$$

$$Qt. \text{ total} = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} - \left(2\sqrt{2g} \cdot \frac{b}{3} \cdot (h - y)^{\frac{3}{2}} \Big|_0^{h-h'} \right)$$

$$Qt. \text{ total} = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot (h' - h)^{\frac{3}{2}}$$

Donde : $h - h' = h''$

h = carga del fluido, aguas arriba.

h' = Carga del fluido, aguas arriba en la zona triangular.

h'' = Carga del fluido, aguas arriba en la zona rectangular.

- Ecuación general del caudal teórico del vertedero combinado, hasta la zona rectangular.

$$Qt. \text{ total} = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot (h'')^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación 12: Caudal teórico general del vertedero combinado, hasta la zona rectangular.

Fuente : Elaboración propia.

Donde:

- Qt. Total = Caudal teórico total
- h' = Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular.
- θ = Angulo de vertedero
- h'' = Carga del fluido, aguas arriba en la zona rectangular.
- g = Gravedad
- b = Ancho de cresta del vertedero de la zona rectangular.

2.7.1.10.- Caudales teóricos del vertedero combinado 15°

PASO 1: Dimensiones del vertedero combinado 15°

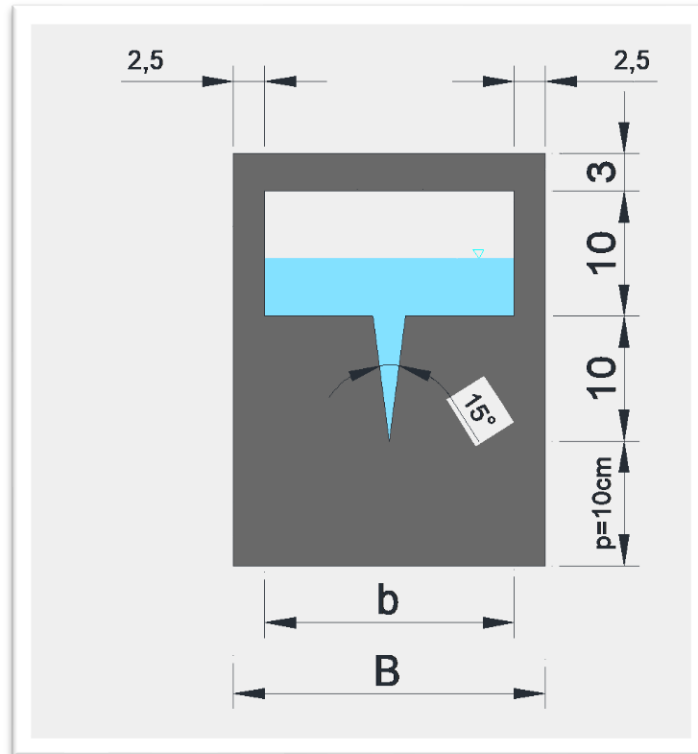


Figura 43: Vertedero combinado 15° .

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $N= 2$; Número de contracciones.
- $b=20\text{cm}$; Ancho de cresta de vertedero en la zona rectangular.
- $P= 10\text{cm}$; Peralte.
- $\theta=15^\circ$; Ángulo de vertedero.
- $B = 25\text{cm}$; Ancho del canal.

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10.

CASO 2: En el vertedero combinado 15° , todos los ensayos llegaron a la zona rectangular.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero combinado.

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * (h')^{5/2} + \frac{2}{3} * \left(b - \frac{2h}{10}\right) * \sqrt{2g} * (h')^{3/2} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

- Altura de vertedero, zona triangular (h') = 100mm

					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable							
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable								
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	(mm)	H-p- h'= h''(mm)	h''(m)	(m3/s)	(L/s)
I	1.3	1%	79	1.43	COMBINADO 15	208	100	100	8	0.008	0.0014	1.4027
		2%	81	1.52		209	100	100	9	0.009	0.0015	1.4832
		4%	83	1.61		211	100	100	11	0.011	0.0017	1.6574
II	2.98	1%	112	3.34	COMBINADO 15	235	100	100	35	0.035	0.0047	4.7153
		2%	113	3.41		233	100	100	33	0.033	0.0044	4.4071
		4%	114	3.49		233	100	100	33	0.033	0.0044	4.4071
III	3.49	1%	120	3.95	COMBINADO 15	239	100	100	39	0.039	0.0054	5.3548
		2%	121	4.03		238	100	100	38	0.038	0.0052	5.1921
		4%	120	3.95		237	100	100	37	0.037	0.0050	5.0313
IV	4.5	1%	133	5.07	COMBINADO 15	250	100	100	50	0.05	0.0073	7.2564
		2%	133	5.07		249	100	100	49	0.049	0.0071	7.0755
		4%	134	5.17		246	100	100	46	0.046	0.0065	6.5422
V	5.55	1%	145	6.26	COMBINADO 15	258	100	100	58	0.058	0.0088	8.7546
		2%	145	6.26		257	100	100	57	0.057	0.0086	8.5625
		4%	145	6.26		255	100	100	55	0.055	0.0082	8.1824
VI	6.59	1%	155	7.37	COMBINADO 15	265	100	100	65	0.065	0.0101	10.1345
		2%	156	7.48		263	100	100	63	0.063	0.0097	9.7341
		4%	156	7.48		262	100	100	62	0.062	0.0095	9.5357
VII	7.54	1%	164	8.45		271	100	100	71	0.071	0.0114	11.3634

		2%	164	8.45	COMBINAD O 15	270	100	100	70	0.07	0.0112	11.1558
		4%	164	8.45		267	100	100	67	0.067	0.0105	10.5396
VIII	8.59	1%	173	9.63	COMBINAD O 15	277	100	100	77	0.077	0.0126	12.6308
		2%	173	9.63		276	100	100	76	0.076	0.0124	12.4170
		4%	172	9.49		274	100	100	74	0.074	0.0120	11.9925

Tabla 18: Caudales teóricos del vertedero combinado 15° (CASO 2) en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.11.- Caudales teóricos del vertedero combinado 45°

PASO 1: Dimensiones del vertedero combinado 45°

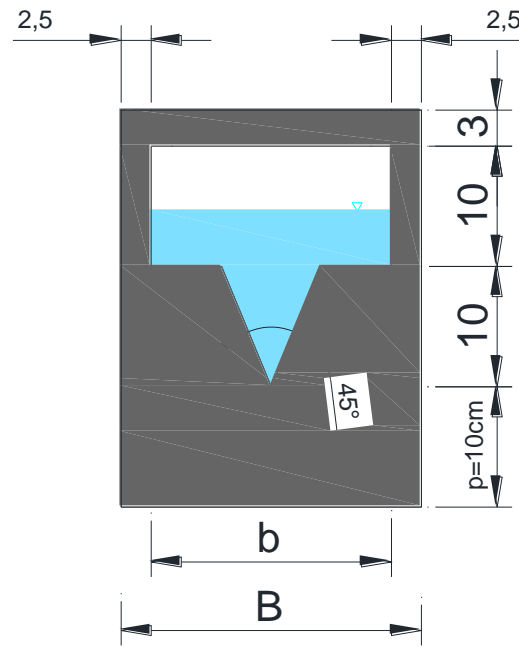


Figura 44: Vertedero combinado 45°.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- $N = 2$; Número de contracciones.
- $b = 20\text{cm}$; Ancho de cresta de vertedero en la zona rectangular.
- $P = 10\text{cm}$; Peralte.
- $\theta = 45^\circ$; Angulo de vertedero.
- $B = 25\text{cm}$; Ancho del canal.

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10

CASO 1: En el vertedero combinado 45° , en el ensayo 1, solo se llegó a la zona triangular.

- Ecuación general teórica del vertedero combinado, hasta la zona triangular

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h)^{\frac{5}{2}} \quad \text{ec. 11}$$

Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.											
Caudal real en el canal de pendiente variable											
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
								H-p= h'(mm)	H-p= h'(m)		
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)				(L/s)
I	1.3	1%	69	1.03	COMBINADO 45	178	100	78	0.078	0.0017	1.6627
		2%	73	1.18		181	100	81	0.081	0.0018	1.8272
		4%	77	1.34		183	100	83	0.083	0.0019	1.9421

Tabla 19: Caudales teóricos del vertedero combinado 45° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2: En el vertedero combinado 45° , para los ensayos II, III, IV, V, VI, VII, VIII, si llegó a la zona rectangular.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero combinado.

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * (h')^{5/2} + \frac{2}{3} * \left(b - \frac{2h}{10}\right) * \sqrt{2g} * (h'')^{3/2} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

- Altura de vertedero, zona triangular (h') = 100mm

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable							
	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	(mm)	H-p- h' = h''(mm)	h''(m)	(m3/s)	(L/s)
II	2.98	1%	112	3.34	COMBINADO 45	207	100	100	7	0.007	0.0034	3.4378
		2%	113	3.41		207	100	100	7	0.007	0.0034	3.4378
		4%	114	3.49		205	100	100	5	0.005	0.0033	3.3021
III	3.49	1%	120	3.95	COMBINADO 45	220	100	100	20	0.02	0.0047	4.7314
		2%	121	4.03		219	100	100	19	0.019	0.0046	4.6117
		4%	120	3.95		218	100	100	18	0.018	0.0045	4.4950
IV	4.5	1%	133	5.07	COMBINADO 45	231	100	100	31	0.031	0.0062	6.2180
		2%	133	5.07		230	100	100	30	0.03	0.0061	6.0711
		4%	134	5.17		228	100	100	28	0.028	0.0058	5.7840
V	5.55	1%	145	6.26	COMBINADO 45	237	100	100	37	0.037	0.0071	7.1422
		2%	145	6.26		238	100	100	38	0.038	0.0073	7.3030
		4%	145	6.26		235	100	100	35	0.035	0.0068	6.8262
VI	6.59	1%	155	7.37	COMBINADO 45	243	100	100	43	0.043	0.0081	8.1341
		2%	156	7.48		246	100	100	46	0.046	0.0087	8.6531

		4%	156	7.48		242	100	100	42	0.042	0.0080	7.9644
		1%	164	8.45		253	100	100	53	0.053	0.0099	9.9186
VII	7.54	2%	164	8.45	COMBINADO 45	252	100	100	52	0.052	0.0097	9.7334
		4%	164	8.45		249	100	100	49	0.049	0.0092	9.1864
		1%	173	9.63		259	100	100	59	0.059	0.0111	11.0588
VIII	8.59	2%	173	9.63	COMBINADO 45	258	100	100	58	0.058	0.0109	10.8654
		4%	172	9.49		256	100	100	56	0.056	0.0105	10.4826

Tabla 20: Caudales teóricos del vertedero combinado 45° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.12.- Caudales teóricos del vertedero combinado 60°

PASO 1: Dimensiones del vertedero combinado 60°

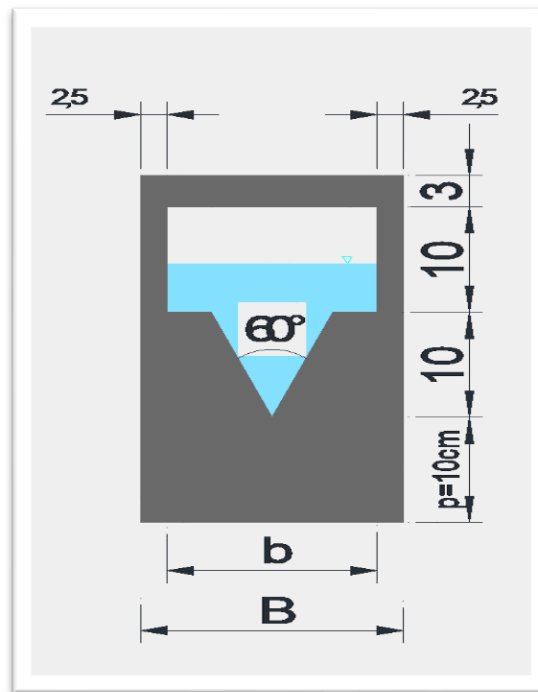


Figura 45: Vertedero combinado 60°.

Fuente : Elaboración propia.

Donde:

- $N = 2$; Número de contracciones.
- $b = 20\text{cm}$; Ancho de cresta de vertedero en la zona rectangular.
- $P = 10\text{cm}$; Peralte.
- $\theta = 60^\circ$; Angulo de vertedero.
- $B = 25\text{cm}$; Ancho del canal.

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10

CASO 1 : En vertedero combinado 60° , para los ensayos I y II, sólo llegaron hasta la zona triangular.

- Ecuación general teórica del vertedero combinado, hasta la zona triangular

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h)^{\frac{5}{2}}$$

ec. 11

					Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable							
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	H-p=h'(mm)	H-p=h'(m)	(m3/s)	(L/s)
I	1.3	1%	79	1.43	COMBINADO 60	171	100	71	0.071	0.0018	1.8320
		2%	81	1.52		174	100	74	0.074	0.0020	2.0317
		4%	83	1.61		176	100	76	0.076	0.0022	2.1718
II	2.98	1%	112	3.34	COMBINADO 60	195	100	95	0.095	0.0038	3.7940
		2%	113	3.41		196	100	96	0.096	0.0039	3.8946
		4%	114	3.49		195	100	95	0.095	0.0038	3.7940

Tabla 21: Caudales teóricos del vertedero combinado 60° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2: En el vertedero combinado 60° , para los ensayos III, IV, V, VI, VII y VIII, si llegaron hasta la zona rectangular.

- Ecuación general del caudal teórico para un vertedero combinado.

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * (h')^{5/2} + \frac{2}{3} * \left(b - \frac{2h}{10}\right) * \sqrt{2g} * (h'')^{3/2} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

- Altura de vertedero, zona triangular (h') = 100mm

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable							
	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec.10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	(mm)	H-p- h'= h''(mm)	h''(m)	(m3/s)	(L/s)
III	3.49	1%	120	3.95	COMBINADO 60	215	100	100	15	0.015	0.0054	5.3818
		2%	121	4.03		213	100	100	13	0.013	0.0052	5.1771
		4%	120	3.95		212	100	100	12	0.012	0.0051	5.0801
IV	4.5	1%	133	5.07	COMBINADO 60	226	100	100	26	0.026	0.0067	6.7247
		2%	133	5.07		224	100	100	24	0.024	0.0065	6.4562
		4%	134	5.17		222	100	100	22	0.022	0.0062	6.1979
V	5.55	1%	145	6.26	COMBINADO 60	232	100	100	32	0.032	0.0076	7.5856
		2%	145	6.26		232	100	100	32	0.032	0.0076	7.5856
		4%	145	6.26		231	100	100	31	0.031	0.0074	7.4367
VI	6.59	1%	155	7.37	COMBINADO 60	240	100	100	40	0.04	0.0088	8.8488
		2%	156	7.48		238	100	100	38	0.038	0.0085	8.5217
		4%	156	7.48		236	100	100	36	0.036	0.0082	8.2019
VII	7.54	1%	164	8.45	COMBINADO 60	246	100	100	46	0.046	0.0099	9.8718

		2%	164	8.45		245	100	100	45	0.045	0.0097	9.6971
		4%	164	8.45		244	100	100	44	0.044	0.0095	9.5241
		1%	173	9.63		253	100	100	53	0.053	0.0111	11.1373
VIII	8.59	2%	173	9.63	COMBINADO 60	252	100	100	52	0.052	0.0110	10.9521
		4%	172	9.49		250	100	100	50	0.05	0.0106	10.5860

Tabla 22: Caudales teóricos del vertedero combinado 60° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1.13.- Caudales teóricos del vertedero combinado 90° .

PASO 1: Dimensiones del vertedero combinado 90°

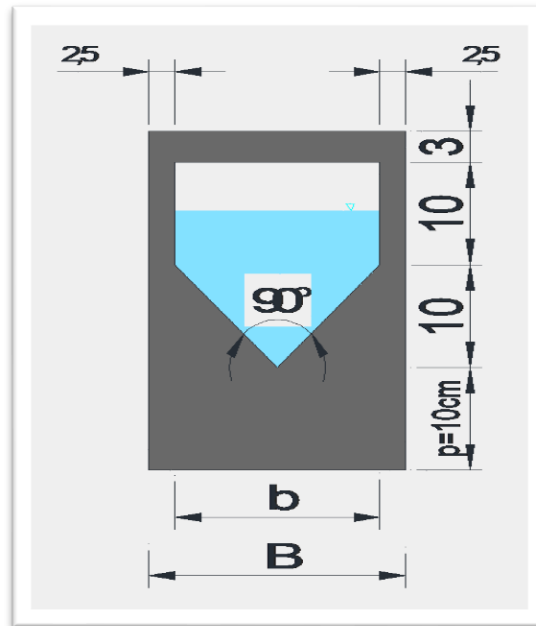


Figura 46: Vertedero combinado 90° .

Fuente : Elaboración propia.

Donde:

- $N= 2$; Número de contracciones.
- $b=20\text{cm}$; Ancho de cresta de vertedero en la zona rectangular.
- $P= 10\text{cm}$; Peralte.
- $\theta = 90^\circ$; Angulo de vertedero.
- $B = 25\text{cm}$; Ancho del canal.

PASO 2: Calculo del caudal teórico con Excel

Se calcularon los caudales teóricos con pendientes de 1%, 2% y 4% para los ocho caudales de referencia promedio (Q_m) del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, y su altura (h^*), mostrado en el **Anexo N°2**, y para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable mencionados anteriormente se calculó mediante la ec. 10

CASO 1: En el vertedero combinado 90° , para los ensayos I, II, III y IV, solo llegaron hasta la zona triangular.

- Ecuación general teórica del vertedero combinado, hasta la zona triangular

$$Q_t = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h)^{\frac{5}{2}}$$

ec. 11

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Tipo de vertedero de material acrílico	Carga Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	H-p=h'(mm)	H-p=h'(m)	(m3/s)	(L/s)
I	1.3	1%	79	1.43	COMBINADO 90	160	100	60	0.06	0.0021	2.0832
		2%	81	1.52		161	100	61	0.061	0.0022	2.1711
		4%	83	1.61		162	100	62	0.062	0.0023	2.2611
II	2.98	1%	112	3.34	COMBINADO 90	178	100	78	0.078	0.0040	4.0141
		2%	113	3.41		177	100	77	0.077	0.0039	3.8866
		4%	114	3.49		177	100	77	0.077	0.0039	3.8866
III	3.49	1%	120	3.95	COMBINADO 90	189	100	89	0.089	0.0056	5.5824
		2%	121	4.03		190	100	90	0.09	0.0057	5.7406
		4%	120	3.95		189	100	89	0.089	0.0056	5.5824
IV	4.5	1%	133	5.07	COMBINADO 90	201	100	101	0.101	0.0077	7.6586
		2%	133	5.07		202	100	102	0.102	0.0078	7.8496
		4%	134	5.17		201	100	101	0.101	0.0077	7.6586

Tabla 23: Caudales teóricos del vertedero combinado 90° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2 : En el vertedero combinado 90°, para los ensayos V, VI, VII y VIII, si llegaron hasta la zona rectangular.

➤ Ecuación general del caudal teórico para un vertedero combinado.

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * (h')^{5/2} + \frac{2}{3} * \left(b - \frac{2h}{10}\right) * \sqrt{2g} * (h'')^{3/2} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

- Altura de vertedero, zona triangular (h') = 100mm

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Altura en el piezómetro (h*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable	Tipo de vertedero	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable						
	Caudal referencial promedio (Qm)	Pendiente (s)	Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h*)	Caudal real (Qrp*) ec. 10		Altura Total (H)	Peralte (p)	Carga del fluido, aguas arriba de la zona triangular (h')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Carga del fluido, aguas arriba, zona rectangular (h'')	Caudal teórico (Qt)	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(mm)	(L/s)		(mm)	(mm)	(mm)	H-p- h'= h''(mm)	h''(m)	(m3/s)	(L/s)
V	5.55	1%	145	6.26	COMBINADO 90	211	100	100	11	0.011	0.0081	8.1443
		2%	145	6.26		210	100	100	10	0.01	0.0081	8.0552
		4%	145	6.26		208	100	100	8	0.008	0.0079	7.8897
VI	6.59	1%	155	7.37	COMBINADO 90	216	100	100	16	0.016	0.0086	8.6466
		2%	156	7.48		214	100	100	14	0.014	0.0084	8.4351
		4%	156	7.48		212	100	100	12	0.012	0.0082	8.2375
VII	7.54	1%	164	8.45	COMBINADO 90	223	100	100	23	0.023	0.0095	9.4832
		2%	164	8.45		222	100	100	22	0.022	0.0094	9.3553
		4%	164	8.45		220	100	100	20	0.02	0.0091	9.1075
VIII	8.59	1%	173	9.63	COMBINADO 90	231	100	100	31	0.031	0.0106	10.5941
		2%	173	9.63		229	100	100	29	0.029	0.0103	10.3025
		4%	172	9.49		227	100	100	27	0.027	0.0100	10.0199

Tabla 24: Caudales teóricos del vertedero combinado 90° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.- Proceso de calibración en el canal de pendiente variable, respecto a su coeficiente de descarga.

2.7.2.1- Coeficiente de descarga para vertedero rectangular

PASO 1 : Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$ (L/s)
- s = Pendiente (%)
- h = Carga del fluido, aguas arriba (m)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero rectangular (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable.	Caudal teórico (Qt)	Coeficiente de descarga (CD)
	(L/s)			H-p=h (m)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	(L/s)		
I	1.3	RECTANGULAR	1%	0.028	1.42714	2.6896	0.5306	
			2%	0.027	1.51672	2.5495	0.5949	
			4%	0.027	1.60954	2.5495	0.6313	
II	2.98	RECTANGULAR	1%	0.048	3.33904	5.9127	0.5647	
			2%	0.047	3.41210	5.7349	0.5950	
			4%	0.044	3.48610	5.2110	0.6690	
III	3.49	RECTANGULAR	1%	0.051	3.94992	6.4552	0.6119	
			2%	0.05	4.03055	6.2729	0.6425	
			4%	0.048	3.94992	5.9127	0.6680	
IV	4.5	RECTANGULAR	1%	0.06	5.07423	8.1591	0.6219	
			2%	0.058	5.07423	7.7711	0.6530	
			4%	0.056	5.16764	7.3883	0.6994	
V	5.55	RECTANGULAR	1%	0.065	6.26224	9.1510	0.6843	
			2%	0.065	6.26224	9.1510	0.6843	
			4%	0.062	6.26224	8.5522	0.7322	
VI	6.59	RECTANGULAR	1%	0.07	7.36653	10.1723	0.7242	
			2%	0.07	7.48280	10.1723	0.7356	
			4%	0.067	7.48280	9.5561	0.7830	
VII	7.54	RECTANGULAR	1%	0.074	8.45191	11.0090	0.7677	
			2%	0.074	8.45191	11.0090	0.7677	
			4%	0.071	8.45191	10.3799	0.8143	
VIII	8.59	RECTANGULAR	1%	0.08	9.62626	12.2945	0.7830	
			2%	0.079	9.62626	12.0778	0.7970	
			4%	0.076	9.49131	11.4335	0.8301	

Tabla 25: Coeficientes de descarga del vertedero rectangular, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 2: Caudal real en el software HCANALES para el vertedero rectangular.

$$C_d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot C_D$$

Ecuación 13: Coeficiente de descarga de un vertedero rectangular en el software HCANALES.

Fuente : Elaboración propia.

$$Q_{real} = C_d \cdot (L - 0.1nh) \cdot h^{3/2}$$

Ecuación 14: Caudal real de un vertedero rectangular con el software HCANALES.

Fuente: Elaboración propia.

- **Para el ensayo VII:**

$$C_d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot C_D \quad \text{ec. 13}$$

$$C_d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot 0.7677 = 2.26699$$

$$Q_{real} = C_d \cdot (L - 0.1nh) \cdot h^{3/2} \quad \text{ec. 14}$$

$$Q_{real} = 2.26699 \cdot (0.2 - 0.1 * 2 * 0.074) \cdot 0.074^{3/2}$$

$$Q_{real} = 8.4519 \text{ L/s}$$

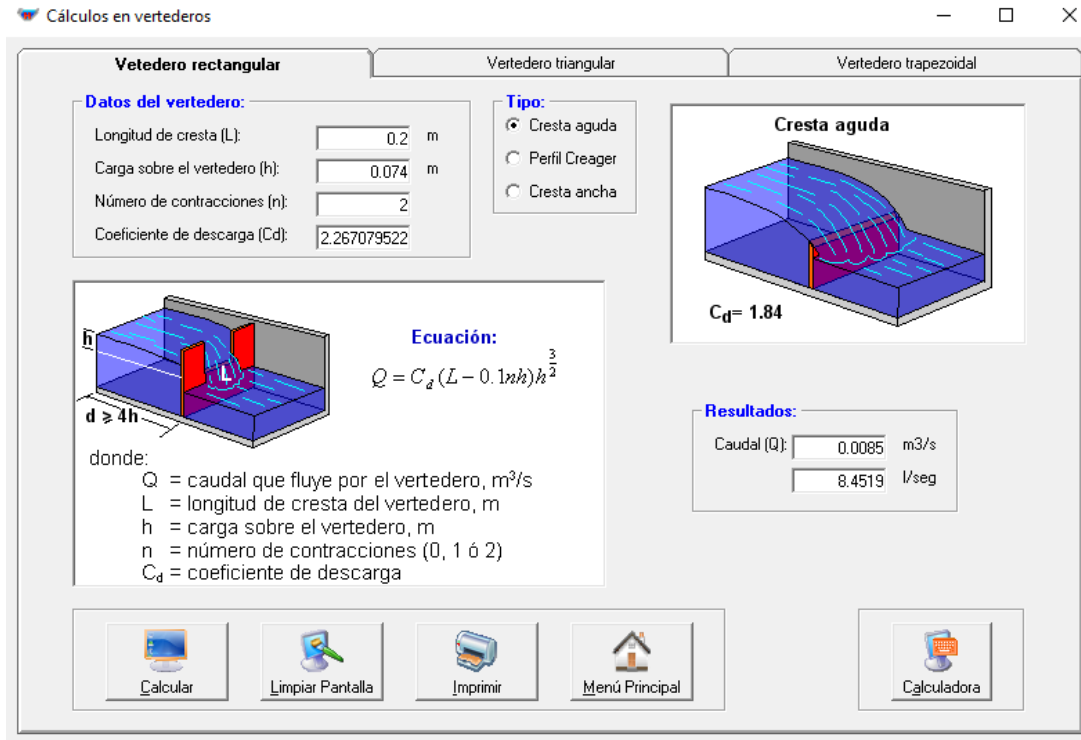


Figura 47: Caudal real con HCANALES para el vertedero rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.2.- Coeficientes de descarga para el vertedero triangular 15°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel.

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- h = Carga del fluido, aguas arriba (m)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero rectangular (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable.			
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm) (L/s)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s) (%)	Carga del fluido, aguas arriba (h) H-p=h (m)	Caudal real (Qrp*) ec. 10 (L/s)	Caudal teórico (Qt) (L/s)	Coefficiente de descarga (CD) (-)
I	1.3	TRIANGULAR 15°	1%	0.108	1.42714	1.1922	1.1971
			2%	0.113	1.51672	1.3350	1.1361
			4%	0.11	1.60954	1.2481	1.2896
II	2.98	TRIANGULAR 15°	1%	0.182	3.33904	4.3950	0.7597
			2%	0.182	3.41210	4.3950	0.7764
			4%	0.179	3.48610	4.2161	0.8269

Tabla 26: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 15°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 2: Caudal real en el software HCANALES del vertedero triangular 15°.

$$Cd = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * CD$$

Ecuación 15: Coeficiente de descarga de un vertedero triangular con el software HCANALES.

Fuente : Elaboración propia.

$$Q_{real} = C_d * h^{5/2}$$

Ecuación 16: Caudal real de un vertedero triangular con el software HCANALES.

Fuente : Elaboración propia.

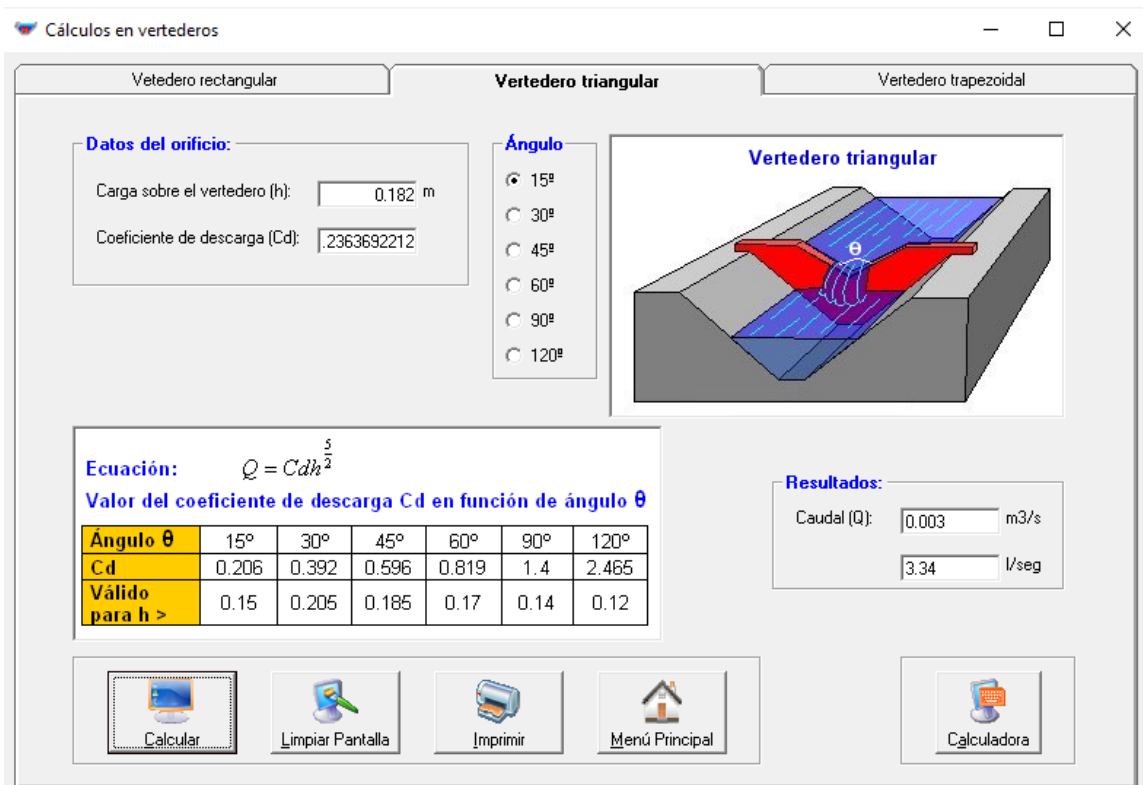
- Para el ensayo II:

$$C_d = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * C_D \quad \text{ec. 15}$$

$$C_d = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{15^\circ}{2}\right) * 0.7597 = 0.2363$$

$$Q_{real} = C_d * h^{5/2} \quad \text{ec. 16}$$

$$Q_{real} = 0.2363 * 0.182^{5/2} = 3.33\text{L/s}$$



Datos del orificio:

Carga sobre el vertedero (h): 0.182 m

Coeficiente de descarga (Cd): .2363692212

Ángulo

- 15°
- 30°
- 45°
- 60°
- 90°
- 120°

Ecuación: $Q = C_d h^{\frac{5}{2}}$

Valor del coeficiente de descarga Cd en función de ángulo θ

Ángulo θ	15°	30°	45°	60°	90°	120°
Cd	0.206	0.392	0.596	0.819	1.4	2.465
Válido para h >	0.15	0.205	0.185	0.17	0.14	0.12

Resultados:

Caudal (Q): 0.003 m³/s

3.34 l/seg

Figura 48: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 15°.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.3.- Coeficiente de descarga para el vertedero triangular 45°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- h = Carga del fluido, aguas arriba (m)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero rectangular (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

N° ensayo	Caudal referencial promedio (Q_m) (L/s)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s) (%)	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable.			
				Carga del fluido, aguas arriba (h) H-p=h (m)	Caudal real (Q_{rp}^*) ec. 10 (L/s)	Caudal teórico (Q_t) (L/s)	Coeficiente de descarga (CD) (-)
I	1.3	TRIANGULAR 45°	1%	0.078	1.43	1.6627	0.8583
			2%	0.081	1.52	1.8272	0.8301
			4%	0.083	1.61	1.9421	0.8288
II	2.49	TRIANGULAR 45°	1%	0.113	3.34	4.2002	0.7950
			2%	0.114	3.41	4.2937	0.7947
			4%	0.116	3.49	4.4845	0.7774
III	3.49	TRIANGULAR 45°	1%	0.129	3.95	5.8485	0.6754
			2%	0.13	4.03	5.9625	0.6760
			4%	0.129	3.95	5.8485	0.6754

IV	4.5	TRIANGULAR 45°	1%	0.144	5.07	7.6998	0.6590
			2%	0.145	5.07	7.8342	0.6477
			4%	0.143	5.17	7.5668	0.6829
V	5.55	TRIANGULAR 45°	1%	0.158	6.26	9.7099	0.6449
			2%	0.157	6.26	9.5570	0.6553
			4%	0.155	6.26	9.2555	0.6766
VI	6.59	TRIANGULAR 45°	1%	0.168	7.37	11.3200	0.6508
			2%	0.167	7.48	11.1523	0.6710
			4%	0.165	7.48	10.8214	0.6915
VII	7.54	TRIANGULAR 45°	1%	0.176	8.45	12.7161	0.6647
			2%	0.175	8.45	12.5363	0.6742
			4%	0.173	8.45	12.1811	0.6939
VIII	8.59	TRIANGULAR 45°	1%	0.186	9.63	14.6001	0.6593
			2%	0.185	9.63	14.4046	0.6683
			4%	0.183	9.49	14.0185	0.6771

Tabla 27: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 45°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 4: Caudal real en el software HCANALES para el vertedero triangular 45°.

- Para el ensayo VII:

$$C_d = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * C_D \quad \text{ec. 15}$$

$$C_d = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{45^\circ}{2}\right) * 0.6647 = 0.6507$$

$$Q_{\text{real}} = C_d * h^{5/2} \quad \text{ec. 16}$$

$$Q_{\text{real}} = 0.6507 * 0.176^{5/2} = 8.456 \text{ L/s}$$

Cálculos en vertederos

Vetadero rectangular **Vertedero triangular** Vertedero trapezoidal

Datos del orificio:

Carga sobre el vertedero (h): m

Coefficiente de descarga (Cd):

Ángulo

15°

30°

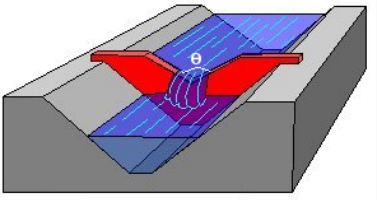
45°

60°

90°

120°

Vertedero triangular



Ecuación: $Q = Cd h^{\frac{5}{2}}$

Valor del coeficiente de descarga Cd en función de ángulo θ

Ángulo θ	15°	30°	45°	60°	90°	120°
Cd	0.206	0.392	0.596	0.819	1.4	2.465
Válido para h >	0.15	0.205	0.185	0.17	0.14	0.12

Resultados:

Caudal (Q): m3/s

l/seg

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 49: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 45°.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.4.- Coeficientes de descarga para el vertedero triangular 60°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s).
- s = Pendiente (%).
- h = Carga del fluido, aguas arriba (m).
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero rectangular (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm) (L/s)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s) (%)	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
				Carga del fluido, aguas arriba (h) H-p=h (m)	Caudal real (Qrp*) ec. 10 (L/s)	Caudal teórico (Qt) (L/s)	Coefficiente de descarga (CD) (-)
I	1.3	TRIANGULAR 60°	1%	0.071	1.43	1.8320	0.77899
			2%	0.074	1.52	2.0317	0.74652
			4%	0.076	1.61	2.1718	0.74111
II	2.98	TRIANGULAR 60°	1%	0.095	3.34	3.7940	0.88008
			2%	0.096	3.41	3.8946	0.87611
			4%	0.095	3.49	3.7940	0.91885
III	3.49	TRIANGULAR 60°	1%	0.113	3.95	5.8544	0.67469
			2%	0.113	4.03	5.8544	0.68846
			4%	0.112	3.95	5.7258	0.68985
IV	4.5	TRIANGULAR 60°	1%	0.129	5.07	8.1520	0.62245
			2%	0.126	5.07	7.6862	0.66017
			4%	0.125	5.17	7.5346	0.68585
V	5.55	TRIANGULAR 60°	1%	0.139	6.26	9.8248	0.63739
			2%	0.136	6.26	9.3033	0.67312
			4%	0.136	6.26	9.3033	0.67312
VI	6.59	TRIANGULAR 60°	1%	0.146	7.37	11.1089	0.66312
			2%	0.146	7.48	11.1089	0.67359
			4%	0.144	7.48	10.7323	0.69722
VII	7.54	TRIANGULAR 60°	1%	0.155	8.45	12.9008	0.65515
			2%	0.153	8.45	12.4887	0.67677
			4%	0.152	8.45	12.2856	0.68795
VIII	8.59	TRIANGULAR 60°	1%	0.163	9.63	14.6304	0.65796
			2%	0.161	9.63	14.1857	0.67859
			4%	0.158	9.49	13.5341	0.70129

Tabla 28: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 60°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 4: Caudal real en el software HCANALES.

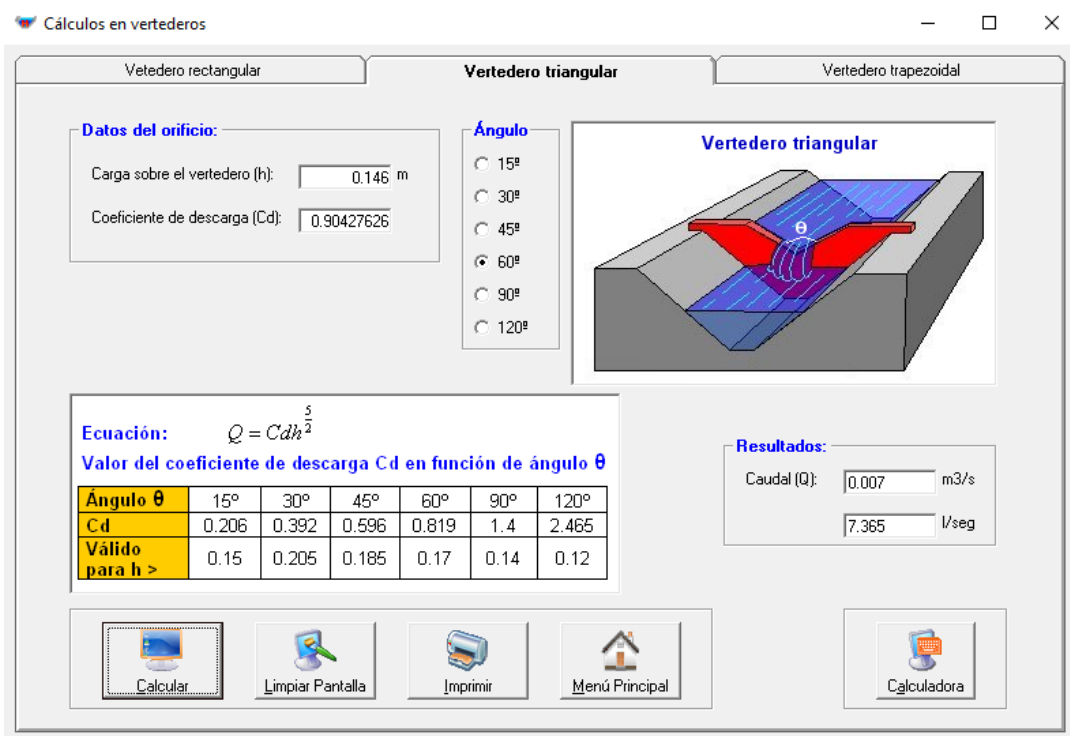
- **Para el ensayo VI:**

$$C_d = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * C_D \quad \text{ec. 15}$$

$$C_d = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{60^\circ}{2}\right) * 0.66312 = 0.9044$$

$$Q_{\text{real}} = C_d * h^{5/2} \quad \text{ec. 16}$$

$$Q_{\text{real}} = 0.9044 * 0.146^{5/2} = 7.365 \text{ L/s}$$



Cálculos en vertederos

Ventana: Vertedero rectangular | **Vertedero triangular** | Vertedero trapezoidal

Datos del orificio:

Carga sobre el vertedero (h): m

Coeficiente de descarga (Cd):

Ángulo

15°
 30°
 45°
 60°
 90°
 120°

Vertedero triangular

Ecuación: $Q = C_d h^{5/2}$

Valor del coeficiente de descarga Cd en función de ángulo θ

Ángulo θ	15°	30°	45°	60°	90°	120°
Cd	0.206	0.392	0.596	0.819	1.4	2.465
Válido para h >	0.15	0.205	0.185	0.17	0.14	0.12

Resultados:

Caudal (Q): m³/s

l/seg

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Figura 50: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 60°.

Fuente: Elaboración propia

2.7.2.5.- Coeficientes de descarga para el vertedero triangular 90°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- h = Carga del fluido, aguas arriba (m)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero rectangular (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero en el canal de pendiente variable.		Caudal real en el canal de pendiente variable.		Coeficiente de descarga (CD)
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s)	Carga del fluido, aguas arriba (h)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	
	(L/s)		(%)	H-p=h (m)	(L/s)	(L/s)	(-)
I	1.3	TRIANGULAR 90°	1%	0.06	1.43	2.0832	0.685
			2%	0.061	1.52	2.1711	0.699
			4%	0.062	1.61	2.2611	0.712
II	2.98	TRIANGULAR 90°	1%	0.078	3.34	4.0141	0.832
			2%	0.077	3.41	3.8866	0.878
			4%	0.077	3.49	3.8866	0.897
III	3.49	TRIANGULAR 90°	1%	0.089	3.95	5.5824	0.708
			2%	0.09	4.03	5.7406	0.702
			4%	0.089	3.95	5.5824	0.708
IV	4.5	TRIANGULAR 90°	1%	0.101	5.07	7.6586	0.663
			2%	0.102	5.07	7.8496	0.646

4%	0.101	5.17	7.6586	0.675
----	-------	------	--------	-------

Tabla 29: Coeficientes de descarga del vertedero triangular 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 4: Caudal real en el software HCANALES.

- **Para el ensayo III:**

$$C_d = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * C_D \quad \text{ec. 15}$$

$$C_d = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{90^\circ}{2}\right) * 0.708 = 1.6725$$

$$Q_{\text{real}} = C_d * h^{5/2} \quad \text{ec. 16}$$

$$Q_{\text{real}} = 1.6725 * 0.089^{5/2} = 3.952 \text{ L/s}$$

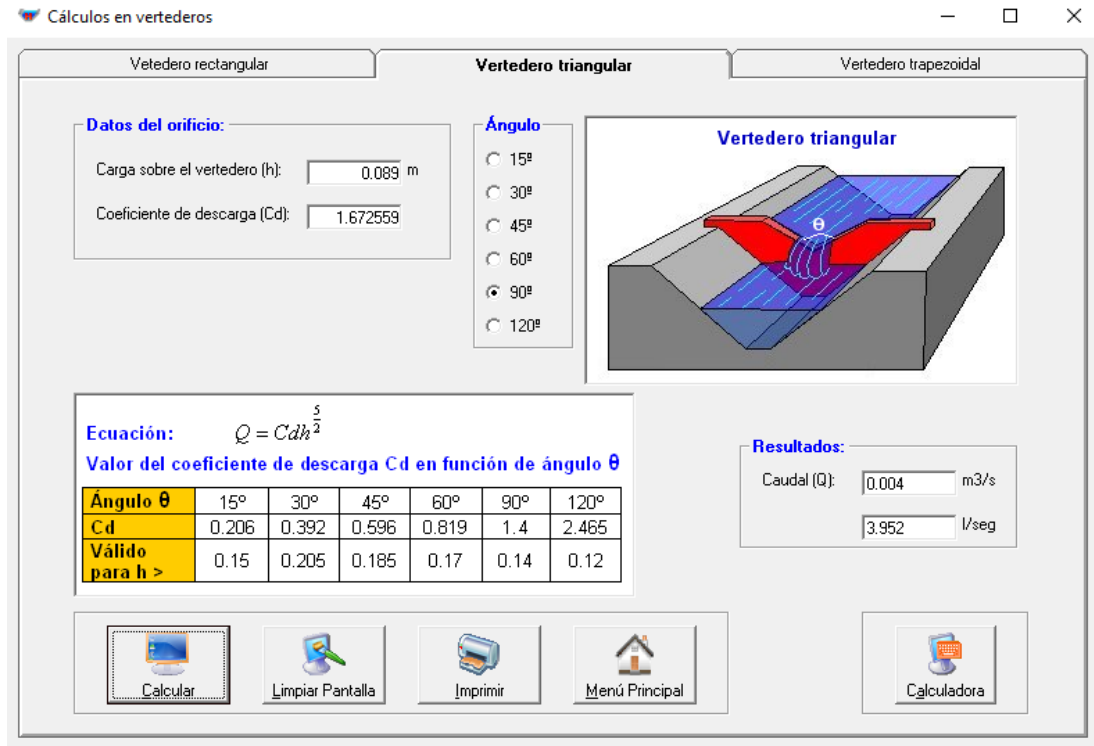


Figura 51: Caudal real con HCANALES para el vertedero triangular 90°.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.6.- Coeficientes de descargas para el vertedero combinado 15°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero combinado 15° (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Pendiente (s)	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico		Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coefficiente de descarga (CD)
	(L/s)			(L/s)	(L/s)	(-)
I	1.3	COMBINADO 15°	1%	1.43	1.4027	1.017
			2%	1.52	1.4832	1.023
			4%	1.61	1.6574	0.971
II	2.98	COMBINADO 15°	1%	3.34	4.7153	0.708
			2%	3.41	4.4071	0.774
			4%	3.49	4.4071	0.791
III	3.49	COMBINADO 15°	1%	3.95	5.3548	0.738
			2%	4.03	5.1921	0.776
			4%	3.95	5.0313	0.785
IV	4.5	COMBINADO 15°	1%	5.07	7.2564	0.699
			2%	5.07	7.0755	0.717
			4%	5.17	6.5422	0.790
V	5.55	COMBINADO 15°	1%	6.26	8.7546	0.715
			2%	6.26	8.5625	0.731
			4%	6.26	8.1824	0.765
VI	6.59	COMBINADO 15°	1%	7.37	10.1345	0.727
			2%	7.48	9.7341	0.769
			4%	7.48	9.5357	0.785
VII	7.54	COMBINADO 15°	1%	8.45	11.3634	0.744
			2%	8.45	11.1558	0.758
			4%	8.45	10.5396	0.802
VIII	8.59	COMBINADO 15°	1%	9.63	12.6308	0.762
			2%	9.63	12.4170	0.775
			4%	9.49	11.9925	0.791

Tabla 30: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 15°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.7.- Coeficientes de descarga para el vertedero combinado 45°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)

s = Pendiente (%)

Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).

Q_t = Caudal teórico del vertedero combinado 15° (L/s).

CD= Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

CASO 1

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08''		Pendiente (s)	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico		Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coeficiente de descarga (CD)
	(L/s)		(%)	(L/s)	(L/s)	(-)
I	1.3	COMBINADO 45	1%	1.03	1.6627	0.617
			2%	1.18	1.8272	0.644
			4%	1.34	1.9421	0.690

Tabla 31: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 45° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Caudal real en el canal de pendiente variable.			
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coefficiente de descarga (CD)
	(L/s)		(%)	(L/s)	(L/s)	(-)
II	2.98	COMBINADO 45	1%	3.34	3.4378	0.971
			2%	3.41	3.4378	0.993
			4%	3.49	3.3021	1.056
III	3.49	COMBINADO 45	1%	3.95	4.7314	0.835
			2%	4.03	4.6117	0.874
			4%	3.95	4.4950	0.879
IV	4.5	COMBINADO 45	1%	5.07	6.2180	0.816
			2%	5.07	6.0711	0.836
			4%	5.17	5.7840	0.893
V	5.55	COMBINADO 45	1%	6.26	7.1422	0.877
			2%	6.26	7.3030	0.857
			4%	6.26	6.8262	0.917
VI	6.59	COMBINADO 45	1%	7.37	8.1341	0.906
			2%	7.48	8.6531	0.865
			4%	7.48	7.9644	0.940
VII	7.54	COMBINADO 45	1%	8.45	9.9186	0.852
			2%	8.45	9.7334	0.868
			4%	8.45	9.1864	0.920
VIII	8.59	COMBINADO 45	1%	9.63	11.0588	0.870
			2%	9.63	10.8654	0.886
			4%	9.49	10.4826	0.905

Tabla 32: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 45° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.8.- Coeficientes de descarga para el vertedero combinado 60°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero combinado 15° (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

CASO 1

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Pendiente (s)	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico		Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coeficiente de descarga (CD)
	(L/s)		(%)	(L/s)	(L/s)	(-)
I	1.3	COMBINADO 60	1%	1.43	1.8320	0.779
			2%	1.52	1.4576	0.747
			4%	1.61	1.5581	0.741
II	2.98	COMBINADO 60	1%	3.34	2.7220	0.880
			2%	3.41	2.7942	0.876
			4%	3.49	2.7220	0.919

Tabla 33: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 60° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'			Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico	Pendiente (s)	Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coefficiente de descarga (CD)
	(L/s)		(%)	(L/s)	(L/s)	(-)
III	3.49	COMBINADO 60	1%	3.95	5.3818	0.734
			2%	4.03	5.1771	0.779
			4%	3.95	5.0801	0.778
IV	4.5	COMBINADO 60	1%	5.07	6.7247	0.755
			2%	5.07	6.4562	0.786
			4%	5.17	6.1979	0.834
V	5.55	COMBINADO 60	1%	6.26	7.5856	0.826
			2%	6.26	7.5856	0.826
			4%	6.26	7.4367	0.842
VI	6.59	COMBINADO 60	1%	7.37	8.8488	0.832
			2%	7.48	8.5217	0.878
			4%	7.48	8.2019	0.912
VII	7.54	COMBINADO 60	1%	8.45	9.8718	0.856
			2%	8.45	9.6971	0.872
			4%	8.45	9.5241	0.887
VIII	8.59	COMBINADO 60	1%	9.63	11.1373	0.864
			2%	9.63	10.9521	0.879
			4%	9.49	10.5860	0.897

Tabla 34: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 60° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2.9.- Coeficientes de descarga para el vertedero combinado 90°

PASO 1: Coeficiente de descarga con Excel

- Q_m = Caudal referencial de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (L/s)
- s = Pendiente (%)
- Q_{rp}^* = Caudal real en el canal de pendiente variable (L/s).
- Q_t = Caudal teórico del vertedero combinado 15° (L/s).
- CD = Coeficiente de descarga (adimensional).

$$CD = \frac{Q_{rp}^*}{Q_t} \quad \text{ec. 9}$$

CASO 1

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Pendiente (s)	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico		Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coeficiente de descarga (CD)
	(L/s)		(%)	(L/s)	(L/s)	(-)
I	1.3	COMBINADO 90	1%	1.43	2.0832	0.685
			2%	1.52	2.1711	0.699
			4%	1.61	2.2611	0.712
II	2.98	COMBINADO 90	1%	3.34	4.0141	0.832
			2%	3.41	3.8866	0.878
			4%	3.49	3.8866	0.897
III	3.49	COMBINADO 90	1%	3.95	5.5824	0.708
			2%	4.03	5.7406	0.702

			4%	3.95	5.5824	0.708
			1%	5.07	7.6586	0.663
IV	4.5	COMBINADO 90	2%	5.07	7.8496	0.646
			4%	5.17	7.6586	0.675

Tabla 35: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 90° (CASO 1), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

CASO 2

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Pendiente (s)	Caudal real en el canal de pendiente variable.		
	Caudal referencial promedio (Qm)	Tipo de vertedero de material acrílico		Caudal real (Qrp*) ec. 10	Caudal teórico (Qt)	Coefficiente de descarga (CD)
	(L/s)			(L/s)	(L/s)	(-)
V	5.55	COMBINADO 90	1%	6.26	8.1443	0.769
			2%	6.26	8.0552	0.777
			4%	6.26	7.8897	0.794
VI	6.59	COMBINADO 90	1%	7.37	8.6466	0.852
			2%	7.48	8.4351	0.887
			4%	7.48	8.2375	0.908
VII	7.54	COMBINADO 90	1%	8.45	9.4832	0.891
			2%	8.45	9.3553	0.903
			4%	8.45	9.1075	0.928
VIII	8.59	COMBINADO 90	1%	9.63	10.5941	0.909
			2%	9.63	10.3025	0.934
			4%	9.49	10.0199	0.947

Tabla 36: Coeficientes de descarga del vertedero combinado 90° (CASO 2), en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.3.- Se aplicó el vertedero hidráulico combinado 90° insitu en el Entorno rural del sector Quives, km 40 Lima-Canta.

2.7.3.1.-Información básica

2.7.3.1.1.- Ubicación geográfica

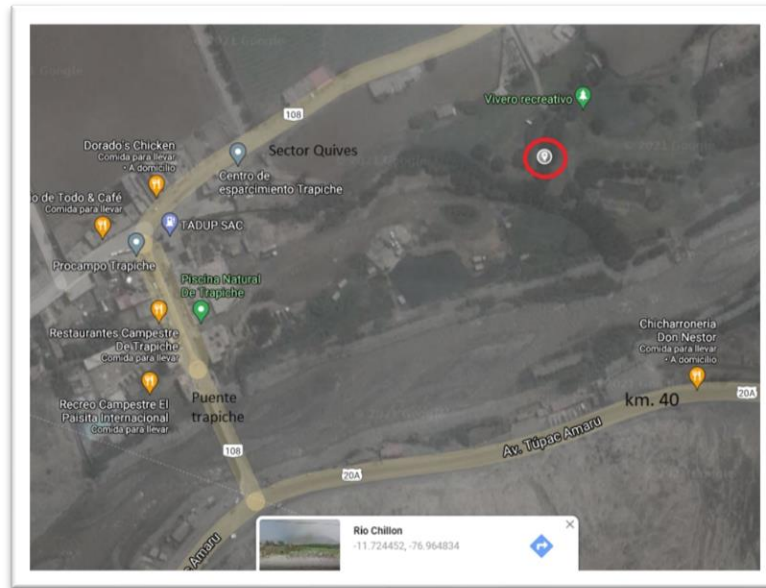


Figura 52: Mapa de la laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte.

Fuente: Google maps, 2021.

Lugar:	Vivero Recreativo
Dirección:	Centro Poblado Trapiche, km. 40.
Distrito:	Santa Rosa de Quives.
Referencia:	Al lado del puente trapiche
Coordenadas:	
	Sur: - 11 724452
	Oeste: -736 9648834

Tabla 37: Datos de ubicación del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta , año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.3.2.- Caudal real y caudal teórico en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives.

Debido a que el vertedero combinado 90° de material acrílico tuvo mayor coeficiente de descarga a comparación del resto de vertedero para caudales mayores al ensayo VI ,ensayado anteriormente en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede los Olivos, lo cual generó mayor coeficiente de descarga a comparación del resto de vertederos y por ende menor pérdida de energía es por eso que fue seleccionado para aplicar en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, además de que es un vertedero donde se puede medir caudales pequeños y altos por tener en la parte baja la zona triangular (para caudales pequeños) y la zona rectangular de arriba (para caudales grandes) y también se sabe que el caudal en el canal de riego es impredecible porque varía con la estacionalidad, por lo cual se fabricó un tipo de vertedero combinado 90° insitu de material de madera.

PASO 1 : Medición de las dimensiones del rio para la fabricación del vertedero combinado 90° .



Figura 53: Medición de las dimensiones del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40, Lima – Canta, año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 2: Colocación del vertedero combinado 90° en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km 40. lima – canta, año 2021.



Figura 54: Colocación del vertedero combinado 90° de material de madera del canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40, Lima – Canta, año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

PASO 3: Se recolectaron datos en el **Anexo N°5** para calcular el caudal real por el método volumétrico en el vertedero combinado 90° de material de madera.



Figura 55: Método volumétrico en el vertedero combinado 90° de material de madera.
Fuente: Elaboración propia.

PASO 4 : Se recolectaron datos en el **Anexo N°5** para el cálculo del caudal teórico del vertedero combinado 90° de material de madera.



Figura 56: Carga del fluido, aguas arriba, en la cara del vertedero combinado 90° de material de madera.
Fuente: Elaboración propia.

- Distancia a 5 veces la carga del fluido en la cara del vertedero combinado de 90° $d=5k=5*11\text{cm}=55\text{cm}$.



Figura 57: Distancia “d” a 5k de la cara del vertedero combinado 90° de material de madera.
Fuente: Elaboración propia.

- Carga total del fluido en el vertedero combinado 90° a una distancia “d”



Figura 58: Carga total del vertedero combinado 90° de material de madera.
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1.- Caudal teórico y coeficientes de descargas del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

3.1.1.- Caudal real (Q_{rp}^*) en el canal de pendiente variable.

N° ensayo	Caudal (Q_m) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'	Pendiente (s)	Altura en el piezómetro (h^*), sin el vertedero acrílico en el canal de pendiente variable.	Caudal real en el canal de pendiente variable Q_{rp}^*
	Caudal referencial promedio (Q_m), Anexo N°2. (L/s)		Altura de la tabla vertedero triangular metálico 53°08' (h^*), Anexo N°2. (mm)	Caudal real (Q_{rp}^*) ec. 10 (L/s)
I	1.3	1%	79	1.42714
		2%	81	1.51672
		4%	83	1.60954
II	2.98	1%	112	3.33904
		2%	113	3.41210
		4%	114	3.48610
III	3.49	1%	120	3.94992
		2%	121	4.03055
		4%	120	3.94992
IV	4.5	1%	133	5.07423
		2%	133	5.07423
		4%	134	5.16764
V	5.55	1%	145	6.26224
		2%	145	6.26224
		4%	145	6.26224
VI	6.59	1%	155	7.36653
		2%	156	7.48280
		4%	156	7.48280
VII	7.54	1%	164	8.45191
		2%	164	8.45191
		4%	164	8.45191
VIII	8.59	1%	173	9.62626
		2%	173	9.62626
		4%	172	9.49131

Tabla 38: Caudal real en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

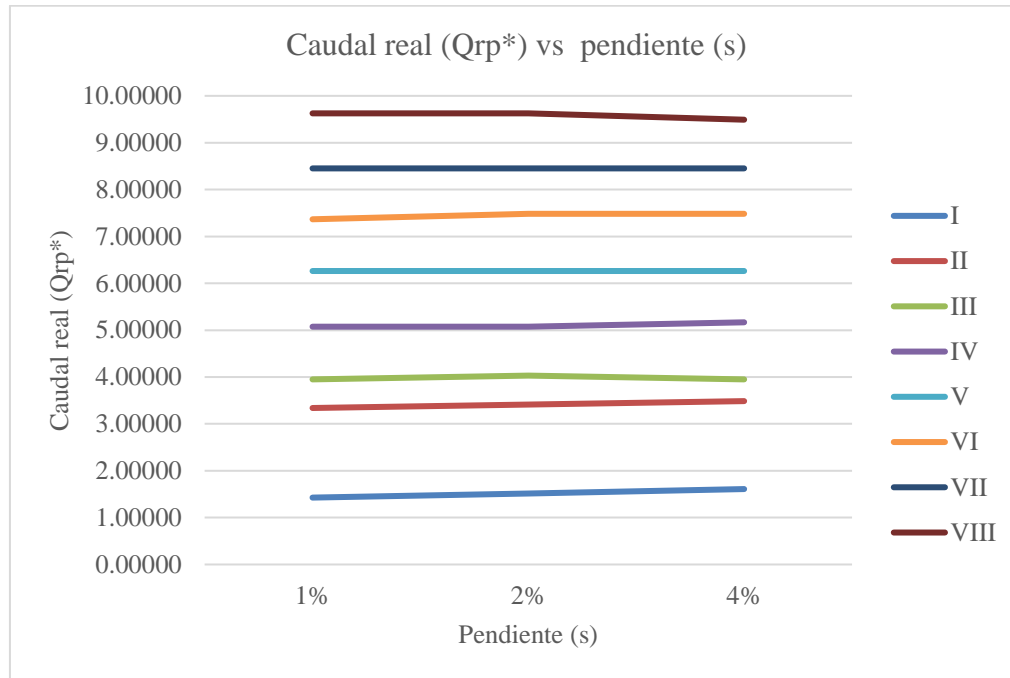


Figura 59 : Caudal real (Q_{rp}^*) vs pendiente(s), en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.- Caudales teóricos de los vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60 y 90°, con sus respectivas cargas de fluido, aguas arriba.

Los caudales teóricos del ensayo I para el vertedero combinado 45°, el ensayo I y II para el vertedero combinado 60° y los ensayos I, II, III, IV para el vertedero combinado 90°, son en realidad los caudales teóricos de los vertederos triangulares del mismo ángulo, sólo que no llegaron a la rectangular.

Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Caudal real en el canal de pendiente variable			
N° ensayo	Caudal referencial promedio (Qm) Anexo N°2.	Pendiente (s)	Caudal real (Qrp*), ec.10	Tipo de vertedero	Caudal teórico (Qt)
	(L/s)	(%)	(L/s)		(L/s)
I	1.3	1%	1.427	RECTANGULAR	2.6896
		2%	1.517		2.5495
		4%	1.610		2.5495
		1%	1.427	TRIANGULAR 15°	1.1922
		2%	1.517		1.3350
		4%	1.610		1.2481
		1%	1.427	TRIANGULAR 45°	1.6627
		2%	1.517		1.8272
		4%	1.610		1.9421
		1%	1.427	TRIANGULAR 60°	1.83203
		2%	1.517		2.0317
		4%	1.610		2.1718
		1%	1.427	TRIANGULAR 90°	2.0832
		2%	1.517		2.1711
		4%	1.610		2.2611
		1%	1.427	COMBINADO 15	1.4027
		2%	1.517		1.4832
		4%	1.610		1.6574
		1%	1.427	COMBINADO 45°	1.6627
		2%	1.517		1.8272
		4%	1.610		1.9421
		1%	1.427	COMBINADO 60°	1.8320
		2%	1.517		2.0317
		4%	1.610		2.1718
1%	1.427	COMBINADO 90°	2.0832		
2%	1.517		2.1711		
4%	1.610		2.2611		
II	2.98	1%	3.339	RECTANGULAR	5.9127
		2%	3.412		5.7349
		4%	3.486		5.2110

		1%	3.339		4.3950
		2%	3.412	TRIANGULAR 15°	4.3950
		4%	3.486		4.2161
		1%	3.339		4.2002
		2%	3.412	TRIANGULAR 45°	4.2937
		4%	3.486		4.4845
		1%	3.339		3.7940
		2%	3.412	TRIANGULAR 60°	3.8946
		4%	3.486		3.7940
		1%	3.339		4.0141
		2%	3.412	TRIANGULAR 90°	3.8866
		4%	3.486		3.8866
		1%	3.339		4.7153
		2%	3.412	COMBINADO 15	4.4071
		4%	3.486		4.4071
		1%	3.339		3.4378
		2%	3.412	COMBINADO 45	3.4378
		4%	3.486		3.3021
		1%	3.339		3.7940
		2%	3.412	COMBINADO 60°	3.8946
		4%	3.486		3.7940
		1%	3.339		4.0141
		2%	3.412	COMBINADO 90°	3.8866
		4%	3.486		3.8866
		1%	3.950		6.4552
		2%	4.031	RECTANGULAR	6.2729
		4%	3.950		5.9127
		1%			
		2%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		4%			
		1%	3.950		5.8485
		2%	4.031	TRIANGULAR 45°	5.9625
		4%	3.950		5.8485
		1%	3.950		5.85442
		2%	4.031	TRIANGULAR 60°	5.8544
		4%	3.950		5.7258
		1%	3.950		5.5824
		2%	4.031	TRIANGULAR 90°	5.7406
		4%	3.950		5.5824
		1%	3.950	COMBINADO 15	5.3548

III 3.49

		2%	4.031		5.1921
		4%	3.950		5.0313
		1%	3.950		4.7314
		2%	4.031	COMBINADO 45	4.6117
		4%	3.950		4.4950
		1%	3.950		5.3818
		2%	4.031	COMBINADO 60	5.1771
		4%	3.950		5.0801
		1%	3.950		5.5824
		2%	4.031	COMBINADO 90°	5.7406
		4%	3.950		5.5824
		1%	5.0742		8.1591
		2%	5.0742	RECTANGULAR	7.7711
		4%	5.1676		7.3883
		1%		TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%	CAUDAL INSUFICIENTE.		CAUDAL INSUFICIENTE.
		4%			
		1%	5.074		7.6998
		2%	5.074	TRIANGULAR 45°	7.8342
		4%	5.168		7.5668
		1%	5.074		8.1520
		2%	5.074	TRIANGULAR 60°	7.6862
		4%	5.168		7.5346
		1%	5.074		7.6586
IV	4.5	2%	5.074	TRIANGULAR 90°	7.8496
		4%	5.168		7.6586
		1%	5.074		7.2564
		2%	5.074	COMBINADO 15	7.0755
		4%	5.168		6.5422
		1%	5.074		6.2180
		2%	5.074	COMBINADO 45	6.0711
		4%	5.168		5.7840
		1%	5.074		6.7247
		2%	5.074	COMBINADO 60	6.4562
		4%	5.168		6.1979
		1%	5.074		7.6586
		2%	5.074	COMBINADO 90°	7.8496
		4%	5.168		7.6586
V	5.55	1%	6.262	RECTANGULAR	9.1510

		2%	6.262		9.1510
		4%	6.262		8.5522
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	6.262		9.7099
		2%	6.262	TRIANGULAR 45°	9.5570
		4%	6.262		9.2555
		1%	6.262		9.82482
		2%	6.262	TRIANGULAR 60°	9.3033
		4%	6.262		9.3033
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	6.262		8.7546
		2%	6.262	COMBINADO 15	8.5625
		4%	6.262		8.1824
		1%	6.262		7.1422
		2%	6.262	COMBINADO 45	7.3030
		4%	6.262		6.8262
		1%	6.262		7.5856
		2%	6.262	COMBINADO 60	7.5856
		4%	6.262		7.4367
		1%	6.262		8.1443
		2%	6.262	COMBINADO 90	8.0552
		4%	6.262		7.8897
		1%	7.367		10.1723
		2%	7.483	RECTANGULAR	10.1723
		4%	7.483		9.5561
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
VI	6.59	1%	7.367		11.3200
		2%	7.483	TRIANGULAR 45°	11.1523
		4%	7.483		10.8214
		1%	7.367		11.1089
		2%	7.483	TRIANGULAR 60°	11.1089
		4%	7.483		10.7323
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			

		4%			
		1%	7.367		10.1345
		2%	7.483	COMBINADO 15	9.7341
		4%	7.483		9.5357
		1%	7.367		8.1341
		2%	7.483	COMBINADO 45	8.6531
		4%	7.483		7.9644
		1%	7.367		8.8488
		2%	7.483	COMBINADO 60	8.5217
		4%	7.483		8.2019
		1%	7.367		8.6466
		2%	7.483	COMBINADO 90	8.4351
		4%	7.483		8.2375
		1%	8.452		11.0090
		2%	8.452	RECTANGULAR	11.0090
		4%	8.452		10.3799
		1%			
		2%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		4%			
		1%	8.452		12.7161
		2%	8.452	TRIANGULAR 45°	12.5363
		4%	8.452		12.1811
		1%	8.452		12.90081
		2%	8.452	TRIANGULAR 60°	12.4887
		4%	8.452		12.2856
		1%			
		2%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		4%			
		1%	8.452		11.3634
		2%	8.452	COMBINADO 15	11.1558
		4%	8.452		10.5396
		1%	8.452		9.9186
		2%	8.452	COMBINADO 45	9.7334
		4%	8.452		9.1864
		1%	8.452		9.8718
		2%	8.452	COMBINADO 60	9.6971
		4%	8.452		9.5241
		1%	8.452		9.4832
		2%	8.452	COMBINADO 90	9.3553
		4%	8.452		9.1075

VII 7.54

		1%	9.626		12.2945
		2%	9.626	RECTANGULAR	12.0778
		4%	9.491		11.4335
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	9.626		14.6001
		2%	9.626	TRIANGULAR 45°	14.4046
		4%	9.491		14.0185
		1%	9.626		14.6304
		2%	9.626	TRIANGULAR 60°	14.1857
		4%	9.491		13.5341
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
VIII	8.59	1%	9.626		12.6308
		2%	9.626	COMBINADO 15	12.4170
		4%	9.491		11.9925
		1%	9.626		11.0588
		2%	9.626	COMBINADO 45	10.8654
		4%	9.491		10.4826
		1%	9.626		11.1373
		2%	9.626	COMBINADO 60	10.9521
		4%	9.491		10.5860
		1%	9.626		10.5941
		2%	9.626	COMBINADO 90	10.3025
		4%	9.491		10.0199

Tabla 39: Caudales teóricos de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.- Coeficientes de descarga de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°.

3.2.1.- Caudal real (Qrp*) y coeficientes de descarga (CD)

Los coeficientes de descarga del ensayo I para el vertedero combinado 45°, el ensayo I y II para el vertedero combinado 60° y los ensayos I, II, III, IV para el vertedero combinado 90°, son en realidad los coeficientes de descarga de los vertederos triangulares del mismo ángulo, sólo que no llegaron a la rectangular.

N° ensayo	Caudal (Qm) de la tabla vertedero triangular metálico 53°08'		Caudal real en el canal de pendiente variable		
	Caudal referencial promedio (Qm) Anexo N°2. (L/s)	Pendiente (s) (%)	Caudal real (Qrp*), ec. 10 (L/s)	Tipo de vertedero (CD) ec.9	
I	1.3	1%	1.427	RECTANGULAR	0.531
		2%	1.517		0.595
		4%	1.610		0.631
		1%	1.427	TRIANGULAR 15°	1.197
		2%	1.517		1.136
		4%	1.610		1.290
		1%	1.427	TRIANGULAR 45°	0.858
		2%	1.517		0.830
		4%	1.610		0.829
		1%	1.427	TRIANGULAR 60°	0.779
		2%	1.517		0.747
		4%	1.610		0.741
		1%	1.427	TRIANGULAR 90°	0.685
		2%	1.517		0.699
		4%	1.610		0.712
		1%	1.427	COMBINADO 15	1.017
		2%	1.517		1.023
		4%	1.610		0.971
		1%	1.427	COMBINADO 45°	0.617
		2%	1.517		0.644

		4%	1.610		0.690
		1%	1.427		0.779
		2%	1.517	COMBINADO 60°	0.747
		4%	1.610		0.741
		1%	1.427		0.685
		2%	1.517	COMBINADO 90°	0.699
		4%	1.610		0.712
		1%	3.339		0.565
		2%	3.412	RECTANGULAR	0.595
		4%	3.486		0.669
		1%	3.339		0.760
		2%	3.412	TRIANGULAR 15°	0.776
		4%	3.486		0.827
		1%	3.339		0.795
		2%	3.412	TRIANGULAR 45°	0.795
		4%	3.486		0.777
		1%	3.339		0.880
		2%	3.412	TRIANGULAR 60°	0.876
		4%	3.486		0.919
		1%	3.339		0.832
		2%	3.412	TRIANGULAR 90°	0.878
		4%	3.486		0.897
		1%	3.339		0.708
		2%	3.412	COMBINADO 15	0.774
		4%	3.486		0.791
		1%	3.339		0.971
		2%	3.412	COMBINADO 45	0.993
		4%	3.486		1.056
		1%	3.339		0.880
		2%	3.412	COMBINADO 60°	0.876
		4%	3.486		0.919
		1%	3.339		0.832
		2%	3.412	COMBINADO 90°	0.878
		4%	3.486		0.897
		1%	3.950		0.612
		2%	4.031	RECTANGULAR	0.643
		4%	3.950		0.668
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%	CAUDAL INSUFICIENTE.		CAUDAL INSUFICIENTE.
II	2.98				
III	3.49				

	4%				
	1%	3.950		0.675	
	2%	4.031	TRIANGULAR 45°	0.676	
	4%	3.950		0.675	
	1%	3.950		0.675	
	2%	4.031	TRIANGULAR 60°	0.688	
	4%	3.950		0.690	
	1%	3.950		0.708	
	2%	4.031	TRIANGULAR 90°	0.702	
	4%	3.950		0.708	
	1%	3.950		0.738	
	2%	4.031	COMBINADO 15	0.776	
	4%	3.950		0.785	
	1%	3.950		0.835	
	2%	4.031	COMBINADO 45	0.874	
	4%	3.950		0.879	
	1%	3.950		0.7339	
	2%	4.031	COMBINADO 60	0.7785	
	4%	3.950		0.7775	
	1%	3.950		0.708	
	2%	4.031	COMBINADO 90°	0.702	
	4%	3.950		0.708	
	1%	5.0742		0.622	
	2%	5.0742	RECTANGULAR	0.653	
	4%	5.1676		0.699	
	1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.	
	2%				
	4%				
	1%	5.074		0.659	
	2%	5.074	TRIANGULAR 45°	0.648	
	4%	5.168		0.683	
	1%	5.074		0.622	
	2%	5.074	TRIANGULAR 60°	0.660	
	4%	5.168		0.686	
	1%	5.074		0.663	
	2%	5.074	TRIANGULAR 90°	0.646	
	4%	5.168		0.675	
	1%	5.074		0.699	
	2%	5.074	COMBINADO 15	0.717	
	4%	5.168		0.790	

IV

4.5

		1%	5.074		0.816
		2%	5.074	COMBINADO 45	0.836
		4%	5.168		0.893
		1%	5.074		0.7546
		2%	5.074	COMBINADO 60	0.7859
		4%	5.168		0.8338
		1%	5.074		0.663
		2%	5.074	COMBINADO 90°	0.646
		4%	5.168		0.675
		1%	6.262		0.684
		2%	6.262	RECTANGULAR	0.684
		4%	6.262		0.732
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	6.262		0.645
		2%	6.262	TRIANGULAR 45°	0.655
		4%	6.262		0.677
		1%	6.262		0.637
		2%	6.262	TRIANGULAR 60°	0.673
		4%	6.262		0.673
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
V	5.55	1%	6.262		0.715
		2%	6.262	COMBINADO 15	0.731
		4%	6.262		0.765
		1%	6.262		0.877
		2%	6.262	COMBINADO 45	0.857
		4%	6.262		0.917
		1%	6.262		0.8255
		2%	6.262	COMBINADO 60	0.8255
		4%	6.262		0.8421
		1%	6.262		0.769
		2%	6.262	COMBINADO 90	0.777
		4%	6.262		0.794
		1%	7.367		0.724
		2%	7.483	RECTANGULAR	0.736
		4%	7.483		0.783
VI	6.59	1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			

		1%	7.367			0.651
		2%	7.483	TRIANGULAR 45°		0.671
		4%	7.483			0.691
		1%	7.367			0.663
		2%	7.483	TRIANGULAR 60°		0.674
		4%	7.483			0.697
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.	
		2%				
		4%				
		1%	7.367			0.727
		2%	7.483	COMBINADO 15		0.769
		4%	7.483			0.785
		1%	7.367			0.906
		2%	7.483	COMBINADO 45		0.865
		4%	7.483			0.940
		1%	7.367			0.8325
		2%	7.483	COMBINADO 60		0.8781
		4%	7.483			0.9123
		1%	7.367			0.852
		2%	7.483	COMBINADO 90		0.887
		4%	7.483			0.908
		1%	8.452			0.768
		2%	8.452	RECTANGULAR		0.768
		4%	8.452			0.814
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.	
		2%				
		4%				
		1%	8.452			0.665
		2%	8.452	TRIANGULAR 45°		0.674
		4%	8.452			0.694
		1%	8.452			0.655
VII	7.54	2%	8.452	TRIANGULAR 60°		0.677
		4%	8.452			0.688
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.	
		2%				
		4%				
		1%	8.452			0.744
		2%	8.452	COMBINADO 15		0.758
		4%	8.452			0.802
		1%	8.452			0.852
		2%	8.452	COMBINADO 45		0.868
		4%	8.452			0.920

		1%	8.452		0.856
		2%	8.452	COMBINADO 60	0.872
		4%	8.452		0.887
		1%	8.452		0.891
		2%	8.452	COMBINADO 90	0.903
		4%	8.452		0.928
		1%	9.626		0.783
		2%	9.626	RECTANGULAR	0.797
		4%	9.491		0.830
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 15°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	9.626		0.659
		2%	9.626	TRIANGULAR 45°	0.668
		4%	9.491		0.677
		1%	9.626		0.658
		2%	9.626	TRIANGULAR 60°	0.679
		4%	9.491		0.701
		1%	CAUDAL INSUFICIENTE.	TRIANGULAR 90°	CAUDAL INSUFICIENTE.
		2%			
		4%			
		1%	9.626		0.762
		2%	9.626	COMBINADO 15	0.775
		4%	9.491		0.791
		1%	9.626		0.870
		2%	9.626	COMBINADO 45	0.886
		4%	9.491		0.905
		1%	9.626		0.8643
		2%	9.626	COMBINADO 60	0.8789
		4%	9.491		0.8966
		1%	9.626		0.909
		2%	9.626	COMBINADO 90	0.934
		4%	9.491		0.947

Tabla 40: Coeficientes de descarga de los vertederos triangulares, rectangular y combinados 15°, 45°, 60° y 90°, en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos.

Fuente: Elaboración propia.

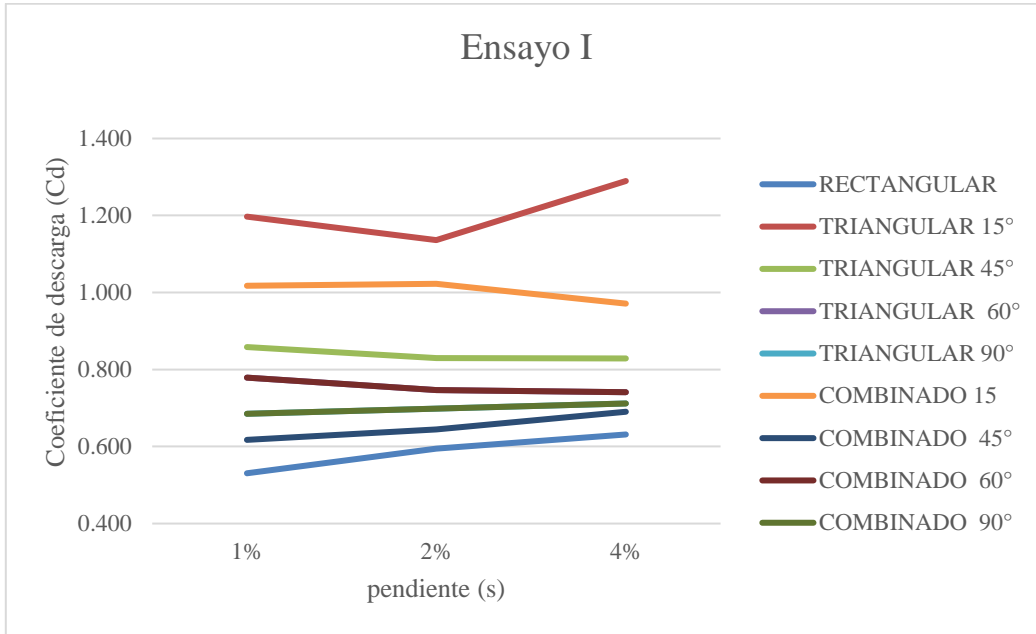


Figura 60: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo I , para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

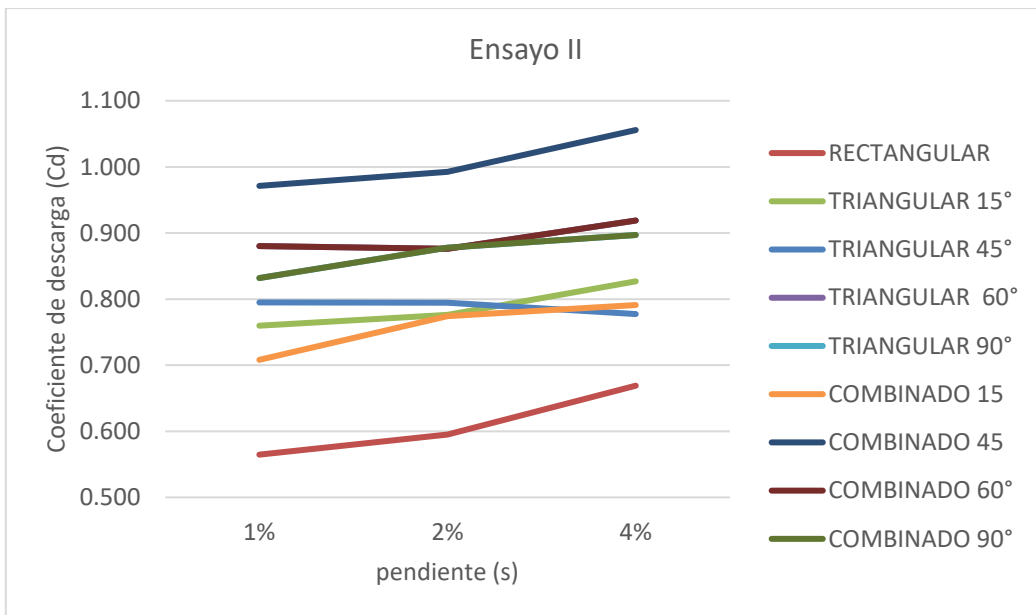


Figura 61 :Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo II, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

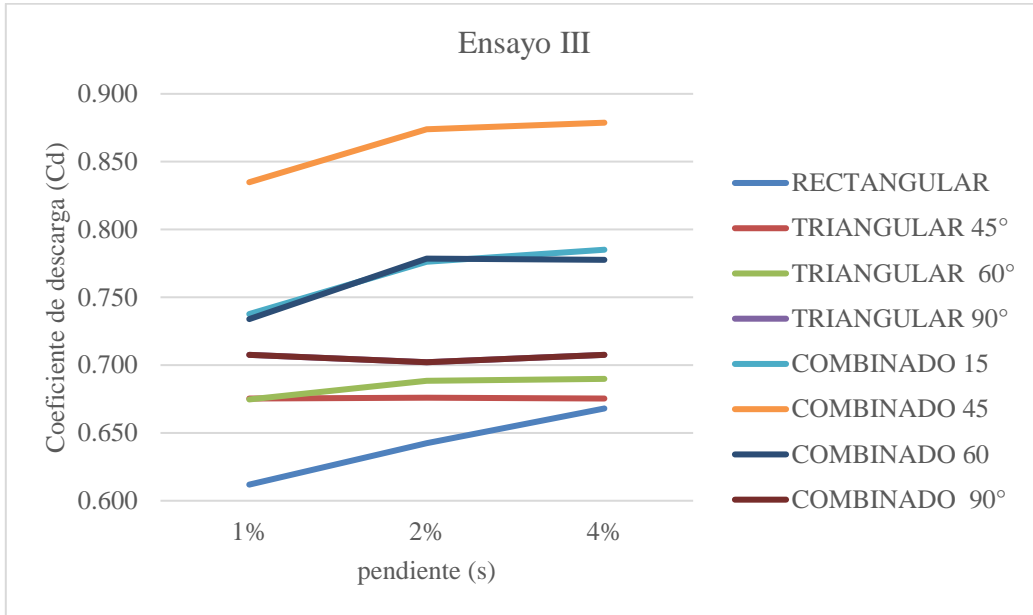


Figura 62 :Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo III, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

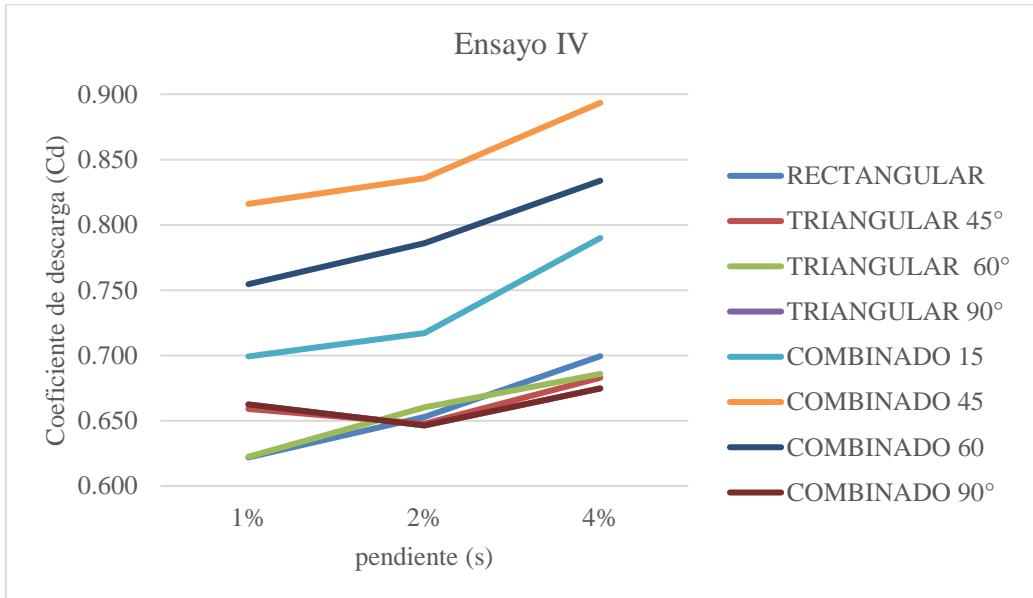


Figura 63: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo IV, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

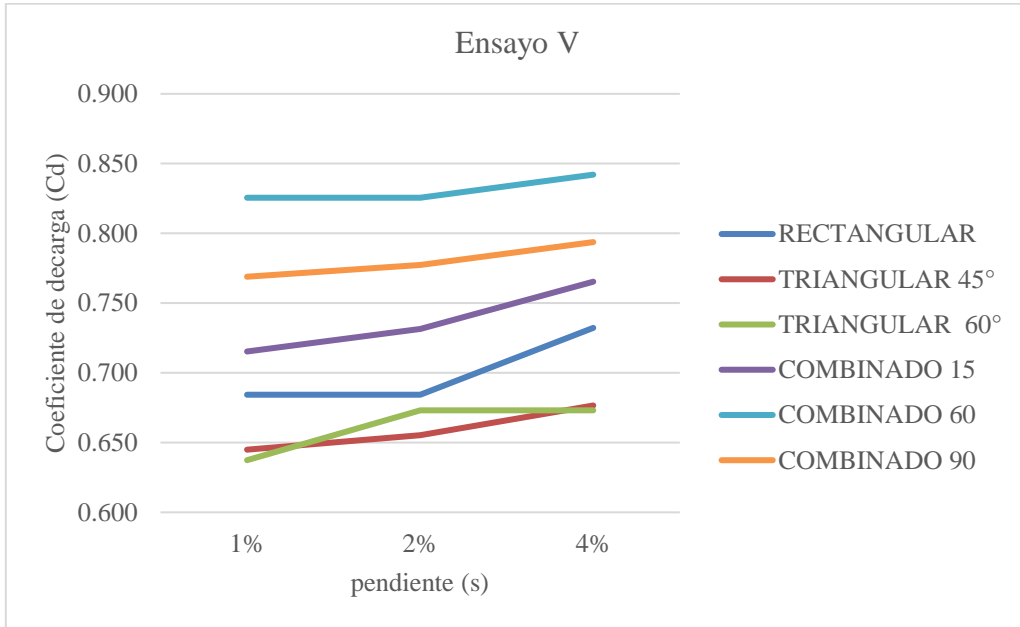


Figura 64 :Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo V, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

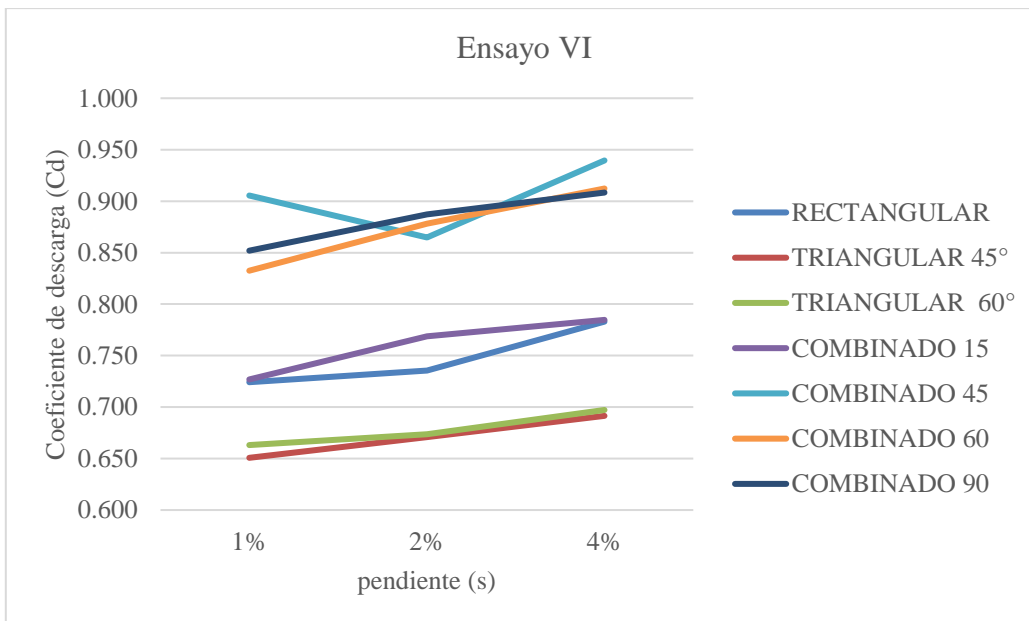


Figura 65: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VI, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente: Elaboración propia.

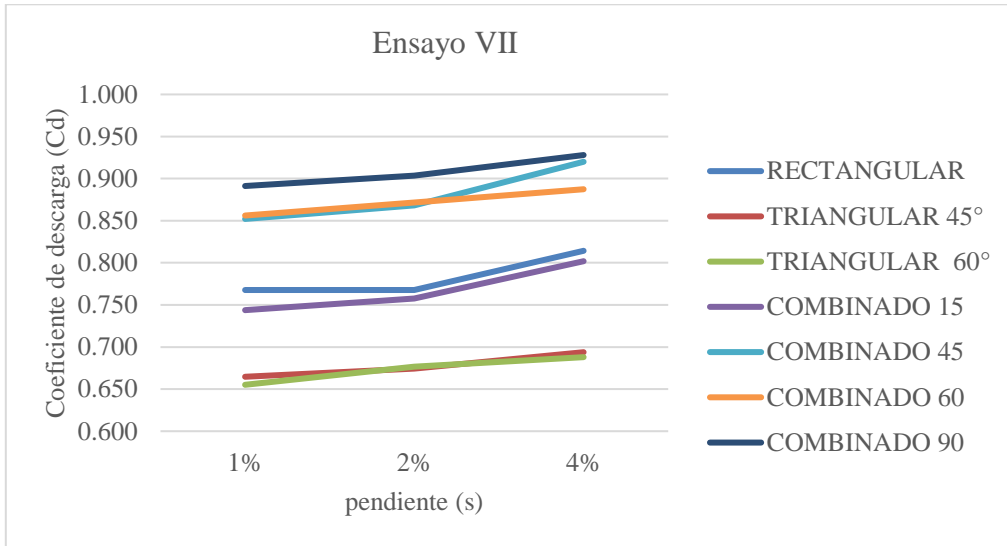


Figura 66 : Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VII, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente : Elaboración propia.

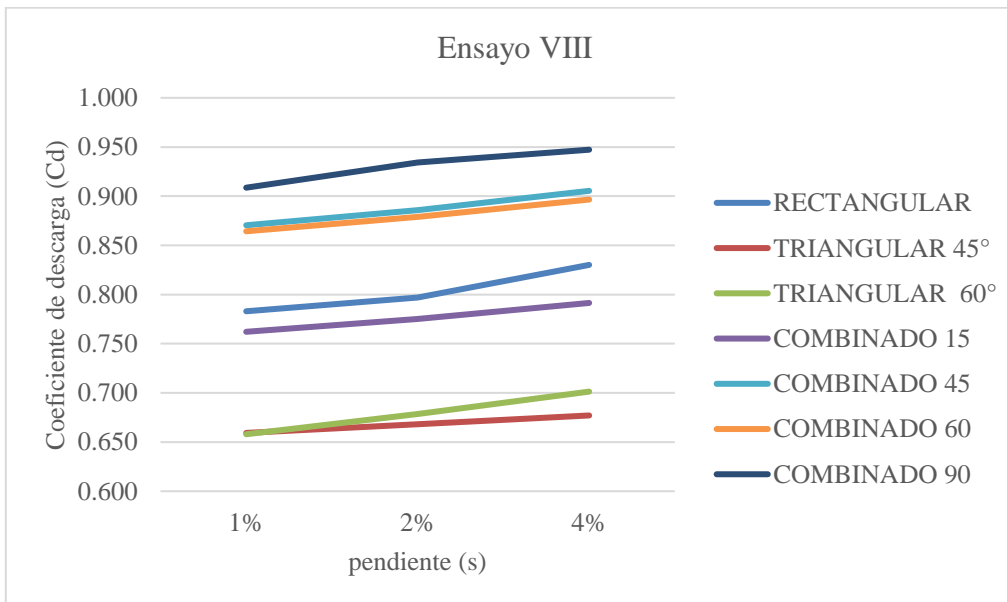


Figura 67: Coeficiente de descarga (Cd) del Ensayo VIII, para vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, con pendientes 1%, 2% y 4%.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.- Temperatura

3.2.2.1.- Temperatura del agua en el canal de pendiente variable = 21C° (Marzo 2019).

3.2.2.2.- Temperatura del agua en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives
= 20°C (Marzo 2021)

3.3.- Aplicar el vertedero combinado 90° de material de madera en el canal de riego Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta.

3.3.1.-Caudal real por el Método Volumétrico

- Mediante el Formato de registro del método volumétrico mostrado en el **Anexo N°6** y la recolección de datos en el anexo 5, se procedió a calcular el caudal real en el canal de riego en el Entorno rural.

Qreal promedio =3.86 L/s.

3.3.2.- Calculo del caudal teórico.

- Mediante la recolección de datos en el **Anexo N°5** se calculó el caudal teórico en el canal de riego en el Entorno rural y con la ec. 12 en la formula general de vertederos combinados hasta la zona rectangular.

Donde :

N=2 contracciones.

$h'=0.1\text{m}$; altura de la zona triangular del vertedero combinado 90° de madera.

$h''=0.01\text{m}$; altura de la zona rectangular del vertedero combinado 90° de madera.

$g= 9.81\text{m/s}^2$; gravedad.

$b=0.36\text{m}$; ancho de cresta.

$$Qt. \text{ comb } 90^\circ = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot (h')^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(b - \frac{N(h'')}{10}\right) \cdot (h'')^{3/2}$$

$$Qt. \text{ comb. } 90^\circ = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{90^\circ}{2}\right) \cdot (0.1)^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(0.36 - \frac{2 \cdot (0.01)}{10}\right) \cdot (0.01)^{3/2}$$

$Qt. \text{ Comb. } 90^\circ = 8.527 \text{ L/s}$

3.3.3.- Coeficiente de descarga.

$$Cd = Q \text{ real} / Q \text{ teórico}$$

$Cd = 3.86 / 8.527 = 0.45$

CAPITULO VI : DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1.- DISCUSIÓN

6.1.1.- Dando respuesta a la pregunta de investigación y validando la hipótesis: El diseño de vertederos hidráulicos, triangulares, rectangulares y combinados nos proporcionará un coeficiente de descarga en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta, año 2021, con el siguiente texto argumentativo. En los ensayos realizados en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos, se tomaron como guía los caudales referenciales Q_m , mostrados en la tabla 38 del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$ para el cálculo de los caudales reales, en los vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15° , 45° , 60° y 90° de material acrílico, con pendientes de 1%, 2% y 4% , luego se calcularon los caudales teóricos y coeficientes de descarga mostrados en las tablas 38 y 39, seleccionando al vertedero que generó mayor coeficientes de descargas para caudales mayores y se pudo observar que el vertedero combinado 90° de material acrílico, obtuvo mayores coeficientes de descarga a partir del ensayo VII para adelante, a comparación de los demás vertederos en las mismas circunstancias a un mismo caudal referencial, lo cual generó menos pérdida de energía. Así mismo se pasó a aplicar el vertedero combinado 90° , elaborado de material de madera, insitu, con un peralte de 0.2m donde se consiguió el caudal real mediante el método volumétrico y la recolección de datos para encontrar el caudal teórico y real mostrado en el **Anexo N°5** con una carga de fluido, aguas arriba a una distancia de 5k, donde nos proporcionó un coeficiente de descarga en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima- Canta, año 2021.

6.1.2.- Interpretando los resultados. Para calcular el **caudal teórico del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte**. Primero, se usó como referencia ocho caudales promedio y cargas de la tabla del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte sede Los Olivos, así mismo se calibraron con los caudales reales que atravesaron por el canal de pendiente variable mediante el método volumétrico mostrado en el **Anexo N°6**, y los resultados en la tabla 38, donde se puede apreciar en la figura 59, su variación de acuerdo a las pendientes 1%, 2% y 4%. Tal es así que para (Alvarado, 2017, pág. 3), el método volumétrico se usa para medir corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito; de esa misma manera en la presente investigación se obtuvo una ecuación potencial por ajustamiento en Excel (ec. 10) donde se pudieron calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable con las pendientes 1%, 2% y 4%, para los ensayos. Una vez conociendo los ocho caudales de referencia, se procedió a medir las cargas de fluido a 10cm del vertedero de material acrílico en el canal de pendiente variable mostrado en el **Anexo N°4**, para cada uno de los vertederos triangulares, rectangular y combinados de 15° , 45° , 60° y 90° , con pendientes de 1%, 2% y 4%, donde se obtuvieron los caudales teóricos para cada vertedero, mostrado en la tabla 39. Así mismo (Marbello, R., 2007, pág. 24) afirma que, para medir pequeños gastos, el vertedero triangular es más preciso que el rectangular, ya que, para un mismo caudal, los valores de la carga de fluido h son mayores.

Con respecto a los vertederos combinados mostrados en la tabla 39, los caudales teóricos para, el ensayo I del vertedero combinado 45° , el ensayo I y II del vertedero combinado 60° , y los ensayos I, II, III, y IV del vertedero combinado 90° , son en realidad los caudales teóricos de los vertederos triangulares del mismo ángulo, solo que no llegaron a la zona rectangular o también que no completaron la zona combinada. Luego para calcular los **coeficientes de descarga del proceso de calibración en el canal de pendiente**. Primero, se usó como referencia ocho caudales promedio y cargas de la tabla del vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, mostrados en la tabla 40, donde se encontraron los coeficientes de descarga después de haber calculado los caudales reales y teóricos en la tabla 38 y 39 respectivamente, en el canal de pendiente variable para los nueve vertederos acrílicos triangulares, rectangular y combinados de 15° , 45° , 60° y 90° con pendientes de 1%, 2% y 4%. Para los vertederos triangulares y rectangulares de material acrílico donde se observó en la tabla 40 que para los ensayos I, II, III y IV, los vertederos triangulares presentan coeficientes de descarga más altos a comparación del vertedero rectangular, mientras que para los ensayos V, VI, VII y VIII, el vertedero rectangular es el que presentó mayor coeficiente de descarga a comparación de los vertederos triangulares. Así mismo (Almeida , 2009) asegura que el vertedero rectangular tiene coeficientes de descargas más altos que el vertedero triangular, es decir para un mismo caudal en ambos casos, el vertedero rectangular producirá menor carga, aguas arriba. Con respecto a los vertederos combinados en la tabla 40, los coeficientes de descarga del ensayo I para el vertedero combinado 45° , el ensayo I y II para vertedero combinado 60° , y los ensayos I, II, III, y IV para el vertedero combinado 90° , son en realidad los coeficientes de descarga de los vertederos triangulares del mismo ángulo, solo que no

llegaron a la zona rectangular o también que no completaron la zona combinada. Así mismo (Almeida , 2009) asegura que el coeficiente de descarga es la relación entre el caudal real y el caudal teórico, afirmando que, si las estructuras presentan un coeficiente de descarga alto, significa que la pérdida de carga es pequeña. Del mismo modo en las figuras 60, 61, 62, 63, 64 y 65 para los ensayos I, II, III, IV, V y VI, se observa que el vertedero combinado 45° tiene mayores coeficientes de descarga a comparación del resto de vertederos, mientras que en las figuras 66 y 67 se muestran que para los ensayos VII, VIII el vertedero combinado 90° de material acrílico es el que presenta mayor coeficiente de descarga a comparación de los demás vertederos, por lo tanto, generó menor pérdida de energía. Del mismo modo para **aplicar el vertedero hidráulico combinado 90° en el Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta**, anteriormente a esta dimensión se demostró en el canal de pendiente variable que el vertedero combinado 90° de material acrílico, fue el que generó menor pérdida de energía , por tener mayor coeficiente de descarga a comparación de los demás vertederos a partir del ensayo VII y VIII, es por ello que en este paso se seleccionó ese mismo tipo de vertedero combinado 90° pero de material de madera tipo insitu para aplicar en el canal de riego en el Entorno rural, siendo así se procederá a calcular el caudal real mediante el método volumétrico mostrado en el **Anexo N°6** y el caudal teórico con los datos obtenidos en el **Anexo N°5** .Así mismo (Alvarado, 2017, pág. 3) usa para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el receptor de agua sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa, luego se tomaron tres volúmenes con tres tiempos, para obtener un caudal real promedio en el canal de riego. Así mismo en el **Anexo N°5** se tomaron datos como las cargas aguas arriba en la zona

triangular y rectangular del vertedero combinado 90° de material de madera, para calcular su caudal teórico en ese momento. Finalmente conociendo el caudal real y el caudal teórico se procedió a calcular el coeficiente de descarga mediante la ec. 9, en el vertedero combinado 90° de material de madera en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, km. 40 Lima – Canta, año 2021.

6.1.3.- En el antecedente 1 , en la investigación de (Ngamalieu, 2015, pág. 74), que trata sobre Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD, según el autor se pudo observar en sus resultados al momento de realizar sus ensayos en el laboratorio permitió conocer su altura de agua y su caudal de entrada para los vertederos triangular, rectangular y trapezoidal donde se dedujo que en los tres casos, el crecimiento del caudal produce un aumento de altura de agua al interior del canal, donde también se pudo observar para el mismo caudal, que el vertedero triangular fue el que obtuvo mayor altura de carga de agua seguida por el rectangular y terminando con la trapezoidal, del mismo modo en los resultados de la presente investigación se pudo observar en la (tabla 38) que al aumentar el caudal real en el canal de pendiente variable, aumenta la altura de vertedero triangular metálico $53^\circ 08'$, y también se puede apreciar que el vertedero triangular es el que tiene mayor altura de carga aguas arriba, seguido del vertedero combinado y terminando por el vertedero rectangular, para un mismo caudal real, realizado en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede Los Olivos.

6.1.4.- En el antecedente 2, Medición simultánea de caudales utilizando vertederos de pared delgada con formas rectangular, triangular, circular y trapezoidal, según el autor (Lopez P. , 2018, pág. 100) , realizado en el laboratorio de Hidráulica de la

Universidad de San Carlos de Guatemala, en los métodos de calibración empleados, el coeficiente de correlación R^2 muestra valores del orden de 0,99, muy cercano a 1, indicando una correspondencia satisfactoria entre los valores de los caudales reales medidos y los caudales generados y calibrados, mientras que la presente investigación el coeficiente de correlación R^2 de la ec. 10 también fue 0.9992, ya que dicha ecuación es el ajustamiento del caudal real medido por el método volumétrico en el canal de pendiente variable y los caudales de la tabla del vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, resultando así un caudal calibrado versus un caudal por el aforo volumétrico en función a la altura de vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$, realizado en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede Los Olivos.

6.1.5.- En el antecedente 3, según el autor (Cadena, 2017, pág. 1) en la elaboración y calibración de tres vertederos, rectangular, triangular, trapezoidal de cresta delgada para realizar aforos en canales, donde se realizó en el canal de riego que pasa los predios de la Unidad Académica de Ingeniería Civil de la UTMACH (Universidad Técnica de Machala). realizando el aforo con el vertedero rectangular de longitud de cresta 0.50m se encontró una altura sobre la cresta del vertedero de 0.15m y utilizando un coeficiente de descarga de 0.55, da como resultado un caudal teórico de 47.28L/s, mientras que para el aforo con el vertedero triangular 90° se encontró una altura sobre la cresta del vertedero de 0.24m y utilizando un coeficiente de descarga de 0.60, dando como resultado un caudal teórico de 40 L/s. De este modo en la presente investigación se encontró en la tabla 40, que para un caudal referencial promedio Q_m de 4.5 L/s, a una misma pendiente de 1%, el vertedero rectangular con 0.2m de longitud de cresta, obtiene una carga de fluido, aguas arriba de 0.06m, utilizando un coeficiente de descarga de 0.6219, dando

como resultado un caudal teórico 8.16 L /s, mientras que para el mismo caudal referencial Q_m , y la misma pendiente, el vertedero triangular 90° , tiene una carga de fluido , aguas arribas de 0.101m, utilizando un coeficiente de descarga de 0.663 dando como resultado un caudal teórico 7.658 L /s, realizado en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privad del Norte – sede Los Olivos.

6.1.6.- En el antecedente 4, Investigación del comportamiento hidráulico del coeficiente de descarga de vertederos de flujo libre; según el autor (Salcedo , 2017, pág. 54), donde se realizaron los ensayos en el laboratorio de hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil de la universidad Nacional San Agustín de Arequipa, en el ensayo realizado con el vertedero rectangular y vertedero triangular, y perfil Creager , donde se comprueba que el vertedero triangular tiene mejor precisión para el cálculo del caudal que el vertedero rectangular como fue mencionado en el marco teórico que el caudal triangular nos brinda mayor precisión para caudales menores a 30 l/s . En el caso de la presente investigación en la tabla 39 se encontraron caudales teóricos calculados por las cargas obtenidas en el **Anexo N°4**, para un mismo caudal referencial Q_m y a una misma pendiente de los vertederos triangulares de 15° , 45° , 60° y 90° de material acrílico, realizados en el canal de pendiente variable, donde se obtuvieron mayores cargas de fluido, aguas arriba, con un mismo peralte a comparación del vertedero rectangular, por lo que generó una mejor precisión.

6.1.7.- En el antecedente 5, Influencia de la geometría hidrodinámica en la disipación de energía de cuatro vertederos tipo laberinto y un vertedero tipo rectangular con igual caudal de descarga y pendiente. Según el autor (Reyes & Roldan, 2018, pág. 19), antes de iniciar los ensayos con los vertederos tipo laberinto, se usó el vertedero tipo

rectangular sin contracciones laterales para calibrar los caudales mediante ensayos de aforo volumétricos a caudales de 20 m³ /h, 25 m³ /h, 30 m³ /h, 35 m³ /h, 40 m³ /h, 45 m³ /h y 50 m³ /h, indicados por el rotámetro, en el canal de pendiente variable de la Universidad Privada Antenor Orrego. Cada uno de los vertederos tipo laberinto fueron ensayados a pendientes de 0%, 1% y 2% con cuatro caudales seleccionados distintos en cada ensayo. Mientras que en la presente investigación antes de iniciar los ensayos con los vertederos triangulares, rectangular y combinado de 15°, 45°, 60° y 90° , en la tabla 38 se determinaron los caudales reales que atravesaron por el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede Los Olivos, mediante el ajustamiento de la ecuación del caudal ec. 10 , seleccionándose ocho caudales de referencia promedio de 1.3L/s, 2.98 L/s, 3.49L/s, 4.5L/s, 5.55L/s, 6.59L/s, 7.54L/s, 8.59L/s de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08', **Anexo N°2** y así calcular los caudales reales para cada vertedero acrílico con cada una de la pendientes 1% , 2% y 4% en el canal de pendiente variable.

6.1.8.- En el antecedente 6, Calibración de vertederos triangulares de pared delgada para distintos ángulos de abertura, según el autor (Garcia A. , 2015), realizándose los ensayos en condiciones controladas en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se concluyó que los ángulos de abertura en el diseño del vertedero triangular dependerá de la magnitud del caudal, considerando también que vertederos con ángulo de abertura pequeños como es el caso de 10° , manejarán tirantes altos, influyendo así en el diseño o dimensionamiento del tanque o canal donde serán instalados, mientras que en la presente investigación, en la tabla 39 , el vertedero triangular 15° , fue el único que solo

llegó hasta el segundo caudal referencial de 2.98 L/s , ya que por su gran carga no admitía caudales mayores que ese, por ende el fluido iba a rebalsar en el canal de pendiente variable del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte- sede Los Olivos.

6.1.9.- En el antecedente 7, Análisis comparativo entre Coeficientes de Descarga Hidráulica en Vertederos Trapezoidales de Pared Delgada variando Dimensiones Manteniendo Relación Altura/Base, realizó en el Canal hidráulico de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, según (Torres J. , 2019), se diseñaron 24 diferentes vertederos trapezoidales de pared delgada, para realiza pruebas de laboratorio con 4 diferentes calados (distancia vertical del agua en una sección transversal desde el fondo hasta la superficie) en cada uno de ellos, observando diferentes comportamientos hidráulicos al momento de comparar los coeficientes de descarga para todos los casos, mientras que en la presente investigación se diseñaron 4 vertederos combinados de 15°, 45°, 60° y 90°, de material acrílico, de pared delgada, que son los que más se asemejan a un vertedero trapezoidal , pero variando su ángulo, con pendientes de 1%, 2% y 4%, en el canal de pendiente variable, donde se observó en la (tabla 40), como los coeficientes de descarga varían al aumentar su calado (altura total).

6.1.10.- En las limitaciones de la presente investigación se encontró una situación lo cual limitó al ensayo en el canal de pendiente variable en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte. Dicha situación fue que la longitud del canal de pendiente variable, limitó la longitud de acción del ensayo a unos pocos cm del vertedero. Por lo general un ensayo hidráulico requiere de una longitud de transición a la entrada y longitud de transición a la salida; esa limitación nos dejó con un margen limitado de

longitud para la evaluación, ya que según (Lux, 2010, pág. 9) , el medidor de la altura de carga (H), debe instalarse detrás de la escotadura a una distancia mayor o igual a $4H$ para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida que se acerca a la misma, como se puede observar en la figura 17. Fue así que se estableció visualmente, que a 10cm del vertedero, la altura medida del tirante, era representativa de lo ocurrido en el vertedero, sin verse afectado por el remanso aguas arriba. En conclusión, los 10cm, fueron tomados en base a estimar un tirante infectó de remanso, debido a la distancia entre caudal entrante y la ubicación del vertedero. Se recomienda realizar la medición de tirante a una distancia $3h$, $4h$ o $5h$, son recomendaciones validas en condición de flujo aguas arriba sin transición (o de longitud infinita) y realizar estos ensayos en un canal más grande. El estándar de longitud de canal para ensayos de laboratorio, es de 25m de longitud, para campo. El segundo fue que la capacidad del medidor de caudal solo generaba hasta un caudal máximo

6.1.11.- Se ubicó los resultandos obtenidos en la unidad de estudio “ En el entorno rural”, con el siguiente texto. Al aplicar el vertedero combinado 90° en el canal de riego en el Entorno rural, con los datos obtenidos en el **Anexo N°5** se calculó el caudal real y caudal teórico obteniendo así un coeficiente de descarga de 0.4526 como resultado, eso significa que existieron diversos factores tanto del vertedero como del canal de riego en el Entorno rural que influyeron en el cálculo del coeficiente de descarga, como el peralte del vertedero, temperatura, dimensiones del canal, etc.

6.1.12.- Los hallazgos encontrados entre los resultados de los antecedentes y los resultados de la presente investigación. **En el antecedente 1**, se pudo observar en ambos resultados que al aumentar el caudal aumenta la carga de fluido en el interior del canal,

donde el vertedero triangular es el que tiene mayor carga de fluido, y también se pudo visualizar que para el resultado del antecedente, el vertedero trapezoidal tiene menor carga que el rectangular, a diferencia del resultado de la presente investigación donde el vertedero combinado presenta mayor carga de fluido que el rectangular, generando una disyuntiva entre el vertedero trapezoidal y el vertedero combinado. **En el antecedente 2**, tanto en el resultado del antecedente como en el resultado de la presente investigación se puede observar una similitud de los coeficientes de correlación R^2 lo cual fue de 0.99 entre el ajustamiento de los caudales reales mediante el aforo volumétrico y los caudales calibrados con dicha ec. 10 de ajustamiento en Excel, generando una similitud de resultados en ambos casos, a pesar de las diferentes circunstancias. **En el antecedente 3**, se pudo observar que en el resultado del antecedente para vertederos rectangular y triangular 90° se llegó a obtener caudales teóricos de hasta 47L/s y 40L/s respectivamente, mientras que para la presente investigación en los vertederos rectangular y triangular 90° , para una misma pendiente de 1%, se pudo observar en la tabla 39 que solo llegaron como máximo hasta los caudales teóricos de 8.16L/s y 7.65 L/s, respectivamente, haciendo notar que existe una amplia diferencia de capacidad de canal para ambos casos. **En el antecedente 4**, se pudo observar en el resultado del antecedente que para caudales menores a 30L/s se tuvieron que los vertederos triangulares tienen mejor precisión que los vertederos rectangulares, mientras que en los resultados de la presente investigación se encontró que para todos los ensayos realizados en el canal de pendiente variable, los vertederos triangulares de 15° , 45° , 60° y 90° con pendientes de 1%, 2% y 4%, tienen mejor precisión que los rectangulares al tener mayor tirante, generando así una similitud de resultados de precisión para un mismo tipo de vertedero en ambos casos y en diferentes

circunstancias. **En el antecedente 5**, se pudo observar que para los resultados de los antecedentes, se utilizó el vertedero rectangular para hallar el caudal real y los vertederos tipo laberinto para hallar los caudales teóricos, mientras que en la presente investigación se utilizó una tabla de vertedero triangular metálico $53^{\circ}08'$ **Anexo N°3** para calcular los caudales reales en el canal de pendiente variable, y vertederos acrílicos para calcular los caudales teóricos eso demuestra que existen diversas formas de calcular los caudales reales y caudales teóricos en diferentes laboratorios, con diferentes tipos de vertederos y en diferentes circunstancias. **En el antecedente 6**, se pudo observar que para los resultados de los antecedentes, se concluyó que para ángulos de 10° generó un gran tirante influyendo en el diseño del canal mientras que para los resultados de la presente investigación el vertedero triangular 15° no completó para todos los ensayos debido a su gran tirante donde el caudal rebalsa en el canal, esto demuestra que para ambos casos a pesar de tener canales con diferentes dimensiones, el ángulo pequeño influyó en el cauce en el canal. Finalmente **en el antecedente 7**, se observó que en los resultados del antecedente, se pudo observar que para vertederos trapezoidales diferentes comportamientos hidráulicos al comparar los coeficientes de descarga para 4 diferentes calados mientras que para los resultados de la presente investigación se puede observar que para cuatro vertederos combinados de diferentes ángulo, el coeficiente de descarga varía según aumente su calado (altura total), esto significa que para ambos casos existe una variación de los coeficientes de descarga al aumentar su calado.

6.2.- CONCLUSION

6.2.1.- Se realizó el diseño de vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados en el Entorno rural del sector Quives, Km 40 Lima-Canta, donde se obtuvo un coeficiente de descarga de 0.4526 en el vertedero combinado 90° , de material de madera, tipo insitu que se aplicó en el canal de riego, para la medición de caudal en un tiempo determinado, ya que varía con las estaciones del año.

6.2.2. Se obtuvieron resultados de los vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados, para los ángulos 15° , 45° , 60° y 90° y pendientes 1%, 2% y 4%, respecto al caudal teórico del proceso de calibración en el canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte – sede Los Olivos, observándose en la figura 59, la poca variación de los caudales reales con respecto a las pendientes 1%, 2% y 4%. Así mismo los caudales teóricos del ensayo I del vertedero combinado 45° , los ensayos I y II del vertedero combinado 60° y los ensayos I, II, III, IV del vertedero combinado 90° de material acrílico, en el canal de pendiente variable, son en realidad los caudales teóricos de los vertederos triangulares del mismo ángulo, solo que no llegaron a la zona rectangular, perteneciendo al CASO 1 de vertederos combinados.

6.2.3.- Se obtuvieron resultados de los vertederos hidráulicos triangulares, rectangulares y combinados, para los ángulos 15° , 45° , 60° y 90° y pendientes 1%, 2% y 4%, respecto a los coeficientes de descarga del proceso de calibración en el canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, donde se observó en la (tabla 40) que para los vertederos triangulares y rectangulares, los ensayos I, II, III y IV, los vertederos triangulares presentan un coeficiente de descarga más alto a comparación del vertedero rectangular, mientras que para los ensayos V, VI, VII y

VIII, el vertedero rectangular es el que presentó mayor coeficiente de descarga a comparación de los vertederos triangulares, esto significa que generó menos pérdida de energía. Así mismo en las figuras 60, 61, 62, 63, 64 y 65 para los ensayos I, II, III, IV, V y VI, se observa que el vertedero combinado 45° tiene mayores coeficientes de descarga a comparación del restos de vertederos, mientras que en las figuras 66 y 67 se pudo observar que para los ensayos VII, VIII el vertedero combinado 90° de material acrílico tiene mayor coeficiente de descarga, en consecuencia dicho vertedero fue el que presentó menor pérdida de energía.

6.2.4.- Se obtuvo resultados de la aplicación del vertedero hidráulico combinado 90° de material de madera en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives, obteniendo así un coeficiente de descarga de 0.4526, eso significó que existieron diversos factores tanto del vertedero como del canal de riego en el Entorno rural que influyeron en el cálculo del coeficiente de descarga, como el peralte del vertedero, temperatura, dimensiones del canal, etc.

REFERENCIAS

Almeida , A. (Diciembre de 2009). Desarrollo de un modelo hidraulico a escala de un canal para implantar un laboratorio en la universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.

Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales. Manual, ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático), Guatemala.

ANIOP. (Mayo de 2017). Revista de difusión de la asociación nacional de ingenieros de obras públicas, ANIOP del Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile, Chile.

Barreto, A. (2012). El progreso de la Estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo, México.

Caballero, A. (2014). Metodología integral innovadora para planes y tesis. Cengage, Lima, Perú.

Cadena, M. (2017). Elaboración y calibración de tres vertederos, Rectangular, Triangular, Trapezoidal de cresta delgada para realizar aforos en canales. Tesis, Universidad Tecnica de Machala, Unidad Academica de Ingenieria Civil, Machala - Ecuador.

Candelaria, J. (2018). "Caracterización hidráulica del flujo de aproximación al vertedero de la presa Los Alazanes (Prov. de Córdoba)". Practica profesional supervisada, Universidad nacional de Cordova, Argentina.

Córdova, L. (2013). "Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio. tesis, Universidad Politecnica Salesiana , Guayaquil, Ecuador.

Cordova, R. (2015). Mejoramiento del sistema hidráulico de riego del caserío de Mossa - distrito Santa Catalina de Mossa - provincia de Morropon Piura. tesis, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Curso de agua. (2020). Wikipedia, Lima, Perú.

Esteban, N. (2018). Tipos de investigación. Universidad Santo Domingo de Guzmán, Lima, Lima, Perú.

Fernández ; Sampieri. (1991). Metodología de la investigación. México

Garcia, A. (2015). Calibración de Vertederos Triangulares de Pared Delgada para distintos ángulos de abertura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

Garcia, O., Araque , O., & Peña, L. (2019). Diseño de un canal para experimentos hidráulicos de flujo libre. programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué, 20, Colombia.

Godfrey, A. (2016). Selección y uso de un variador de frecuencia electrónico para hacer pruebas en un centro de servicios. EASA, Argentina.

Guaman, V. (2018). Modelación numérica y experimental de un canal rectangular abierto con diferentes tipos de vertederos. tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Cuenca-Ecuador.

Gutierrez, D., & Alarcon, F. (2018). Diseño y construcción de un banco de prueba para realización del ensayo de vertederos y de resalto hidráulico, para el laboratorio de hidráulica de la universidad piloto de Colombia- seccional alto Magdalena. tesis, universidad piloto de Colombia, Colombia.

Hernández Sampieri, R., Fernández , C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. México.

Huilca, D. (2015). Estudio Experimental sobre el Flujo en los Vertederos de excesos y desagües de Fondo de la Presa Toachi, aprovechamiento Hidroeléctrico Toachi - Pilatón. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador.

Inciso, C. (2016). “Análisis comparativo de las descargas en orificios y boquillas en laboratorio de hidráulica de UPN-Cajamarca. tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Inkafarma. (2021). Inkafarma, Lima, Perú.

Jimenez, J. (2017). La eficiencia de conducción en el canal troncal tramo no revestido progresiva 5+400 - 5+900; tramo revestido progresiva 17+006-17+506 - caso comisión de usuarios margen izquierda del rio Tumbes 2017. tesis, Universidad nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.

Jímenez, O. (2009). Diseño hidraulico de vertederos en laberinto. tesis, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Cosa Rica.

Legarda , L., & Ruiz, H. (s.f.). Medición de corrientes de agua con fines de ingeniería de regadíos. Colombia.

López, A. (2013). Bases para el diseño hidraulico de la estructura de salida, canal de recolección y tanque de carga entre $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq Q \geq 2 \text{ m}^3$ para desarenadores en aprovechamientos hidroeléctricos. tesis, Universidad central de Ecuador, Quito, Quito, Ecuador.

Lopez, P. (2018). Medición Simultánea de Caudales utilizando vertederos de pared delgada con formas Rectangular, Triangular, Circular y Trapezoidal. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

López, P., & Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Barcelona, Barcelona, España.

Lux, M. (2010). Medidores de flujo en canales abiertos. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Marbello, R. (2007). Vertederos y calibración de vertederos de medida. MANUAL, Universidad nacional de Colombia sede Medellín, MEDELLIN, Medellín, Colombia.

Mashav. (2015). Gestión Integral y Sostenible de Recursos hídricos para el desarrollo del sector agropecuario Israel, Israel.

Miranda, J. (2016). Calibración de vertederos trapezoidales tipo Cipotelli pared delgada de ancho variable. tesis, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Modon, A. (2017). Teoría de mecánica de los fluidos. 172, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Navarro, J. (2016). Definición ABC, Lima, Perú.

Negrón, P. (2014). Redes neuronales sigmoidal con algoritmo LM para pronóstico de tendencia del precio de las acciones del IPSA. informe de proyecto de Ingeniería informática., Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

Ngamalieu, U. (2015). Caracterización de Vertederos Hidráulicos mediante técnicas CFD. Tesis, Universidad Politecnica de Valencia, Facultad de Hidraulica, Valencia, España.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio, 6, Chile.

Pazmiño, M. (15 de 06 de 2017). Determinación del coeficiente de descarga de un prototipo tubo de Venturi construido para uso académico en laboratorio. Ciencias físicas, Ecuador, Quito.

Plaza Vea. (2021), Lima, Perú.

Portillo, L. (2012). Calibración de vertederos de pared delgada para plantas de tratamiento de aguas residuales. tesis, universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Promart. (2021). Homecenter, Lima, Perú.

Quiliche, J. (2015). Coeficientes de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable - laboratorio de hidráulica de la UPN - Cajamarca, 2015.”. Tesis, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingenieria, Cajamarca, Perú.

Reyes, D., & Roldan, O. (2018). Influencia de la Geometria Hidrodinamica en la Disipacion de Energia de Cuatro Vertederos Tipo Laberinto y un Vertedero tipo Rectangular con igual caudal de descarga u pendiente. Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingenieria, Trujillo, Perú..

Rocha, A. (2007). vertederos. En Rocha, Hidraulica de tuberia y canales, Lima, Perú.

Rocha, A. (2015). Vertederos. Formula de vertederos, Lima, Perú.

Rodriguez , J., Valero, C., & Mendoza, K. (Diciembre de 2015). Análisis experimental de coeficientes de descarga en vertederos trapezoidales de pared delgada – Parte I. Yachana, 37, Mexico.

Rodriguez , P. (2008). Abastecimiento de agua. En R. Pedro, Hidraulica de canales (pág. 480). Oaxaca, Mexico.

Salcedo , F. (2017). la Investigación del Comportamiento Hidráulico del Coeficiente de descarga de Vertederos de Flujo Libre. Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería Civil, Arequipa, Perú.

Skertchly, L. (1988). Manual de diseño de estructuras de aforo. Manual, INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA, Jiutepec, Mexico.

Sotelo, G. (1997). Hidraulica general (Vol. 1). Mexico.

Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. (2007). Revisión de diseños resaltantes para enfermería, parte1 : Diseño de investigación cuantitativa. Online, Brasil.

Tecnología educativa s.a. (2021). TecnoEdu, Lima , Perú.

Torres, J. (2019). Análisis Comparativo entre Coeficientes de Descarga Hidráulica en Vertederos Trapezoidales de Pared Delgada variando Dimensiones Manteniendo Relación Altura/Base.?. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Civil, Guayaquil.

Tuc, J. (07 de 01 de 2015). Sildeshare, Lima, Perú.

Valencia, M. (2014). Medicion del caudal. Manual Piraguero, Medellin, Colombia.

Ven Te Chow . (2004). Hidraulica de canales abiertos. Colombia.

Villanueva, K. (2020). Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en la propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020. tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Trujillo, Perú.

Villegas, D. (30 de Agosto de 2019). La importancia de la estadística aplicada para la toma de decisiones en Marketing. Cochabamba, Bolivia.

Walsh Perú , S. (02 de Febrero de 2015). Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Mejoras a la Seguridad Energética del País ”, Perú.

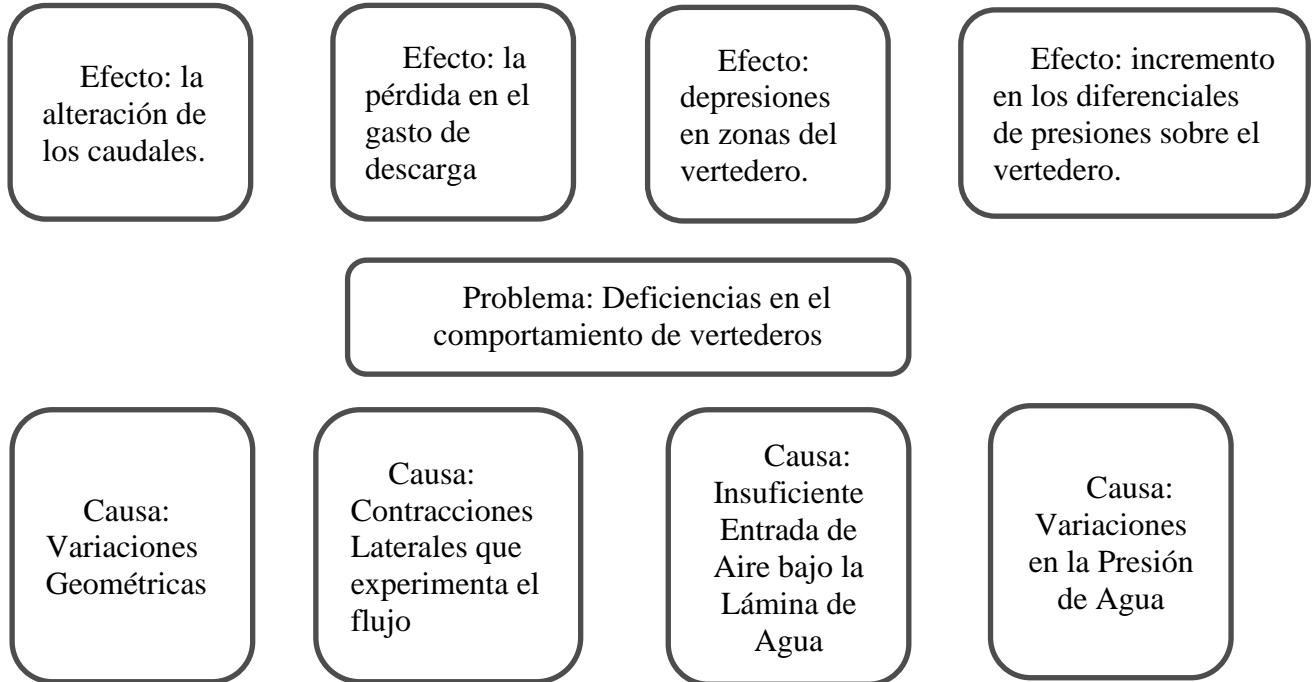
WikiHow. (2021). wikiHow, Lima, Perú.

Wiley, J., & Sons, L. (2018). Modernization of national irrigation systems in the Philippines.

Zavaleta, M. (2020). Análisis de al propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional con adición de bagazo de caña de azúcar en Trujillo- 2020. tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

ANEXOS

Anexo N°1: Figura de las causas y los efectos de un deficiente comportamiento de los vertederos.



Anexo N°2: Guía de observación de la tabla del caudal (Q_m) vs altura (h^*) del vertedero
triangular metálico 53°08'.

h^* (mm)	Q_m (L/s)	h^* (mm)	Q_m (L/s)	h^* (mm)	Q_m (L/s)	h^* (mm)	Q_m (L/s)
80	1.25	120	3.49	160	7.1	200	12.35
81	1.3	121	3.55	161	7.21	201	12.52
82	1.34	122	3.61	162	7.3	202	12.69
83	1.39	123	3.7	163	7.45	203	12.85
84	1.42	124	3.78	164	7.54	204	13.02
85	1.48	125	3.87	165	7.61	205	13.2
86	1.5	126	3.92	166	7.8	206	13.3
87	1.54	127	4.01	167	7.9	207	13.45
88	1.6	128	4.1	168	8.04	208	13.62
89	1.64	129	4.19	169	8.12	209	13.8
90	1.69	130	4.24	170	8.21	210	14
91	1.72	131	4.31	171	8.34	211	14.15
92	1.79	132	4.41	172	8.49	212	14.3
93	1.82	133	4.5	173	8.59	213	14.5
94	1.89	134	4.6	174	8.7	214	14.69
95	1.94	135	4.66	175	8.81	215	14.82
96	1.99	136	4.8	176	8.98	216	15
97	2.04	137	4.85	177	9.1	217	15.15
98	2.1	138	4.91	178	9.21	218	15.35
99	2.13	139	4.98	179	9.34	219	15.55
100	2.19	140	5.1	180	9.49	220	15.7
101	2.24	141	5.19	181	9.6	221	15.9
102	2.3	142	5.29	182	9.75	222	16.05
103	2.37	143	5.38	183	9.9	223	16.2
104	2.41	144	5.45	184	10.02	224	16.4
105	2.49	145	5.55	185	10.14	225	16.6
106	2.54	146	5.67	186	10.3	226	16.8
107	2.61	147	5.74	187	10.49	227	17
108	2.69	148	5.85	188	10.6	228	17.2
109	2.73	149	5.98	189	10.75	229	17.4
110	2.79	150	6.05	190	10.89	230	17.6
111	2.86	151	6.17	191	11.05	231	17.75
112	2.92	152	6.25	192	11.2	232	17.95
113	2.98	153	6.36	193	11.3	233	18.07
114	3.01	154	6.48	194	11.45	234	18.39
115	3.11	155	6.59	195	11.6	235	18.6
116	3.2	156	6.69	196	11.75	236	18.75
117	3.29	157	6.8	197	11.9	237	19
118	3.32	158	6.9	198	12.05	238	19.2
119	3.4	159	7.01	199	12.2	239	19.4



Ing. Josualdo Villar Quiroz, MBA
CIP 106994

Anexo N°3: Ficha de registro de observación para calcular el caudal real en el canal de pendiente variable.

Ensayo	Medición en vertedero principal		Estimación de Caudal real (aforo volumétrico)				Curva de caudal real	
	Altura de la tabla (h*) vertedero triangular 53°08''	Caudal referencial promedio (Qm) del vertedero 53°08'	Volumen (V)	Tiempo (T)	Caudal real (Qr)	Caudal real promedio (Qrp)	Qrp con ec. 10= (Qrp*)	(Qrp-Qrp*)^2
I	86	1.5	20.7	11.42	1.813	1.79	1.75	0.0016020
			23.2	12.82	1.810			
			19	10.78	1.763			
II	98	2.1	12.9	5.37	2.402	2.38	2.41	0.0013312
			11.9	5.06	2.352			
			14	5.9	2.373			
III	116	3.2	21.3	5.88	3.622	3.62	3.64	0.0002328
			20	5.51	3.630			
			18.1	5.01	3.613			
IV	135	4.66	31.3	6.14	5.098	5.17	5.26	0.0086060
			27	5.3	5.094			
			30.3	5.7	5.316			
V	158	6.9	37.1	4.92	7.541	7.65	7.72	0.0054111
			38	4.83	7.867			
			42	5.58	7.527			
VI	174	8.7	50	4.9	10.204	10.00	9.76	0.0574559
			50.3	5.03	10.000			
			49.5	5.05	9.802			



Ing. Josualdo Villar Quiroz, MBA
CIP 106994

Anexo N°4: Ficha de registro de observación para los caudales teóricos y coeficiente de descarga en el canal de pendiente variable.

N° ensayo	Caudal referencial promedio Qm (L/s)	Altura de la tabla del vertedero triangular metálico 53°08' (h*),	Tipo de vertedero de material acrílico	Medido con el limnómetro a 10cm del vertedero		
				Pendiente (s) %	Carga total del fluido H(mm)	peralte p(mm)
I	1.3	79	RECTANGULAR	1%	128	100
		81		2%	127	100
		83		4%	127	100
		79	TRIANGULAR 15°	1%	208	100
		81		2%	213	100
		83		4%	210	100
		79	TRIANGULAR 45°	1%	178	100
		81		2%	181	100
		83		4%	183	100
		79	TRIANGULAR 60°	1%	171	100
		81		2%	174	100
		83		4%	176	100
		79	TRIANGULAR 90°	1%	160	100
		81		2%	161	100
		83		4%	162	100
		79	COMBINADO 15°	1%	208	100
		81		2%	209	100
		83		4%	211	100
		79	COMBINADO 45°	1%	178	100
		81		2%	181	100
83	4%	183		100		
79			1%	171	100	

		81	COMBINADO	2%	174	100
		83	60°	4%	176	100
		79		1%	160	100
		81	COMBINADO	2%	161	100
		83	90°	4%	162	100
		112		1%	148	100
		113	RECTANGULAR	2%	147	100
		114		4%	144	100
		112		1%	282	100
		113	TRIANGULAR	2%	282	100
		114	15°	4%	279	100
		112		1%	213	100
		113	TRIANGULAR	2%	214	100
		114	45°	4%	216	100
		112		1%	195	100
		113	TRIANGULAR	2%	196	100
		114	60°	4%	195	100
		112		1%	178	100
II	2.98	113	TRIANGULAR	2%	177	100
		114	90°	4%	177	100
		112		1%	235	100
		113	COMBINADO	2%	233	100
		114	15°	4%	233	100
		112		1%	207	100
		113	COMBINADO	2%	207	100
		114	45°	4%	205	100
		112		1%	195	100
		113	COMBINADO	2%	196	100
		114	60°	4%	195	100
		112		1%	178	100
		113	COMBINADO	2%	177	100
		114	90°	4%	177	100
		120		1%	151	100
		121	RECTANGULAR	2%	150	100
		120		4%	148	100
III	3.49	120		1%	-	-
		121	TRIANGULAR	2%	-	-
		120	15°	4%	-	-
		120		1%	229	100

		121		2%	230	100
		120	TRIANGULAR	4%	229	100
		120	45°			
		121		1%	213	100
		121	TRIANGULAR	2%	213	100
		120	60°			
		120		4%	212	100
		120		1%	189	100
		121	TRIANGULAR	2%	190	100
		120	90°			
		120		4%	189	100
		120		1%	239	100
		121	COMBINADO	2%	238	100
		120	15°			
		120		4%	237	100
		120		1%	220	100
		121	COMBINADO	2%	219	100
		120	45°			
		120		4%	218	100
		120		1%	215	100
		121	COMBINADO	2%	213	100
		120	60°			
		120		4%	212	100
		120		1%	189	100
		121	COMBINADO	2%	190	100
		120	90°			
		120		4%	189	100
		133		1%	160	100
		133	RECTANGULAR	2%	158	100
		134		4%	156	100
		133		1%	-	-
		133	TRIANGULAR	2%	-	-
		134	15°			
		134		4%	-	-
		133		1%	244	100
		133	TRIANGULAR	2%	245	100
		134	45°			
		134		4%	243	100
IV	4.5	133		1%	229	100
		133	TRIANGULAR	2%	226	100
		134	60°			
		134		4%	225	100
		133		1%	201	100
		133	TRIANGULAR	2%	202	100
		134	90°			
		134		4%	201	100
		133		1%	250	100
		133	COMBINADO	2%	249	100
		134	15°			
		134		4%	246	100
		133		1%	231	100

		133	COMBINADO	2%	230	100
		134	45°	4%	228	100
		133		1%	226	100
		133	COMBINADO	2%	224	100
		134	60°	4%	222	100
		133		1%	201	100
		133	COMBINADO	2%	202	100
		134	90°	4%	201	100
		145		1%	165	100
		145	RECTANGULAR	2%	165	100
		145		4%	162	100
		145		1%	-	-
		145	TRIANGULAR	2%	-	-
		145	15°	4%	-	-
		145		1%	258	100
		145	TRIANGULAR	2%	257	100
		145	45°	4%	255	100
		145		1%	239	100
		145	TRIANGULAR	2%	236	100
		145	60°	4%	236	100
		145		1%	-	-
V	5.55	145	TRIANGULAR	2%	-	-
		145	90°	4%	-	-
		145		1%	258	100
		145	COMBINADO	2%	257	100
		145	15°	4%	255	100
		145		1%	237	100
		145	COMBINADO	2%	238	100
		145	45°	4%	235	100
		145		1%	232	100
		145	COMBINADO	2%	232	100
		145	60°	4%	231	100
		145		1%	211	100
		145	COMBINADO	2%	210	100
		145	90°	4%	208	100
		155		1%	170	100
VI	6.59	156	RECTANGULAR	2%	170	100
		156		4%	167	100
		155		1%	-	-

		156	TRIANGULAR	2%	-	-
		156	15°	4%	-	-
		155		1%	268	100
		156	TRIANGULAR	2%	267	100
		156	45°	4%	265	100
		155		1%	246	100
		156	TRIANGULAR	2%	246	100
		156	60°	4%	244	100
		155		1%	-	-
		156	TRIANGULAR	2%	-	-
		156	90°	4%	-	-
		155		1%	265	100
		156	COMBINADO	2%	263	100
		156	15°	4%	262	100
		155		1%	243	100
		156	COMBINADO	2%	246	100
		156	45°	4%	242	100
		155		1%	240	100
		156	COMBINADO	2%	238	100
		156	60°	4%	236	100
		155		1%	216	100
		156	COMBINADO	2%	214	100
		156	90°	4%	212	100
		164		1%	174	100
		164	RECTANGULAR	2%	174	100
		164		4%	171	100
		164		1%	-	-
		164	TRIANGULAR	2%	-	-
		164	15°	4%	-	-
		164		1%	276	100
		164	TRIANGULAR	2%	275	100
		164	45°	4%	273	100
		164		1%	255	100
		164	TRIANGULAR	2%	253	100
		164	60°	4%	252	100
		164		1%	-	-
		164	TRIANGULAR	2%	-	-
		164	90°	4%	-	-
		164		1%	271	100

VII 7.54

		164	COMBINADO	2%	270	100
		164	15°	4%	267	100
		164		1%	253	100
		164	COMBINADO	2%	252	100
		164	45°	4%	249	100
		164		1%	246	100
		164	COMBINADO	2%	245	100
		164	60°	4%	244	100
		164		1%	223	100
		164	COMBINADO	2%	222	100
		164	90°	4%	220	100
		173		1%	180	100
		173	RECTANGULAR	2%	179	100
		172		4%	176	100
		173		1%	-	-
		173	TRIANGULAR	2%	-	-
		172	15°	4%	-	-
		173		1%	286	100
		173	TRIANGULAR	2%	285	100
		172	45°	4%	283	100
		173		1%	263	100
		173	TRIANGULAR	2%	261	100
		172	60°	4%	258	100
		173		1%	-	-
VIII	8.59	173	TRIANGULAR	2%	-	-
		172	90°	4%	-	-
		173		1%	277	100
		173	COMBINADO	2%	276	100
		172	15°	4%	274	100
		173		1%	259	100
		173	COMBINADO	2%	258	100
		172	45°	4%	256	100
		173		1%	253	100
		173	COMBINADO	2%	252	100
		172	60°	4%	250	100
		173		1%	231	100
		173	COMBINADO	2%	229	100
		172	90°	4%	227	100



Ing. Josualdo Villar Quiroz, MBA
CIP 106994

Anexo N°5: Ficha de registro de observación para calcular el coeficiente de descarga en el canal de riego en el Entorno rural del sector Quives.

Tipo de vertedero de material de madera (insitu)	Datos para calcular el caudal real en el canal de riego en el Entorno rural.		Datos para calcular el caudal teórico en el canal de riego en el Entorno rural.				
	tiempo (seg.)	volumen (L)	Carga del fluido, aguas arriba en la cara del vertedero k (m)	Distancia a 5 k (m)	Angulo de vertedero	Carga total del fluido H(m)	peralte p(m)
COMBINADO 90°	3	1	0.11	0.55	90°	0.31	0.2
	4.5	1.15					
	7	1.5					



Ing. Josualdo Villar Quiroz, MBA
CIP 106994

Anexo N°6: Formato de Registro de los Volúmenes con el Método Volumétrico mediante el formato de (Alvarado, Manual de Medición de Caudales, 2017).

3.4 Métodos de aforo

Los métodos prácticos de aplicación más utilizados son: (Organización Meteorológica Mundial , 2011).

1. Método volumétrico
2. Medidor Parshall
3. Método de vertederos y orificios
4. Método de sección-velocidad, calculando la velocidad con:
 - Flotador
 - Molinete

3.4.1 Método Volumétrico

Es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa.

Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito, así se obtiene:

$$Q = \frac{V}{T}$$



Ing. Josualdo Villar Quiroz, MBA
CIP 106994