



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“COEFICIENTES DE GASTO EN VERTEDEROS TRIANGULARES EN EL CANAL DE PENDIENTE VARIABLE - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UPN - CAJAMARCA, 2015.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero civil

Autor:

QUILICHE VÁSQUEZ, Jhony Alismender

Asesor:

Ing. Luis Vásquez Ramírez

Cajamarca – Perú
2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **QUILICHE VÁSQUEZ, Jhony Alismender**, denominada:

**“COEFICIENTES DE GASTO EN VERTEDEROS TRIANGULARES EN EL
CANAL DE PENDIENTE VARIABLE - LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA
UPN - CAJAMARCA, 2015.”**

Ing. Luis Vásquez Ramírez
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Irene Ravines Azañero
**JURADO
SECRETARIO**

Ing. Mónica Carolina Roncal Mujica
**JURADO
VOCAL**

DEDICATORIA

A Dios

Por iluminar y bendecir cada instante de mi vida, por cuidar de mis padres y hermanas, por iluminar y cuidar mis pasos en todo momento, y permitirme compartir con todos mis seres queridos este logro.

A mis padres

Lucila Vásquez Idrogo y Eustaquio Quiliche Medina, por el apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi formación, por la comprensión y los buenos consejos en momentos difíciles de mi vida, por sus bendiciones y sobre todo por el amor y confianza depositada en mí.

A mis hermanas

Mily Roxana y Fanny Jhysenia, por el apoyo moral durante toda mi carrera, y por su comprensión brindada en situaciones difíciles.

AGRADECIMIENTO

A La Facultad de Ingeniería Civil, a la Universidad Privada del Norte, por la formación que me brindó para poder llegar a ser Ingeniero.

Agradezco a Dios por haberme brindado vivir y disfrutar de cada día, la sabiduría y sobre todo la perseverancia para poder culminar esta etapa de mi vida. A mi familia, por haberme brindado amor y apoyo incondicional y formarme como personas de bien, por animarme en los momentos más difíciles de mi carrera.

A la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por darme la oportunidad de ser profesional; la misma que con los docentes que han sido los generadores de conocimiento necesario para culminar con éxito la carrera.

Al Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga y a mi asesor de tesis Ing. Luis Vásquez Ramírez por su esfuerzo y dedicación, quien con los conocimientos, experiencia y motivación a logrado que pueda terminar la carrera y tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE GRAFICOS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Limitaciones	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases Teóricas	6
2.2.1. <i>Definición de vertedero</i>	6
2.2.2. <i>Canal hidrodinámico de pendiente variable</i>	7
2.3. Definición de términos básicos	7
2.3.1. <i>Descripción general de los canales hidráulicos</i>	7
2.3.2. <i>Flujo permanente y flujo no permanente</i>	8
2.3.3. <i>Elementos geométricos de una sección de canal</i>	9
2.3.4. <i>La profundidad de flujo</i>	11
2.3.5. <i>Vertedero triangular</i>	11
2.3.6. <i>Ecuaciones para vertedor triangular de pared delgada</i>	12
2.3.7. <i>Coefficientes de gasto</i>	14
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	15
3.1. Formulación de la hipótesis	15
3.2. Operacionalización de variables	15
CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL	17
4.1. Generalidades.....	17
4.2. Procesamiento de datos	17
4.2.1. <i>Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$</i>	17
4.2.2. <i>Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$</i>	19
4.2.3. <i>Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$</i>	20
4.2.4. <i>Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$</i>	22

4.2.5.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	24
4.2.6.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	25
4.2.7.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	27
4.2.8.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	29
4.2.9.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	30
4.2.10.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	32
4.2.11.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	34
4.2.12.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	35
4.2.13.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	37
4.2.14.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	39
4.2.15.	Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	40
4.3.	Beneficios esperados del proyecto	42
4.3.1.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	43
4.3.2.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	44
4.3.3.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	45
4.3.4.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	46
4.3.5.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	47
4.3.6.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	48
4.3.7.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	49
4.3.8.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	50
4.3.9.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	51
4.3.10.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	52
4.3.11.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	53
4.3.12.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	54
4.3.13.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	55
4.3.14.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	56
4.3.15.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	57
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....		58
5.1.	Tipo de diseño de investigación.....	58
5.2.	Material de estudio.....	58
5.2.1.	Unidad de estudio.....	58
5.2.2.	Población.....	58
5.2.3.	Muestra.....	58
5.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	59
5.3.1.	Para recolectar datos.....	59
5.3.2.	Para procesar datos	59
5.3.3.	Para recolectar datos.....	59
5.3.4.	PROCEDIMIENTO	60
CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....		61
6.1.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	61
6.2.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	62
6.3.	Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	63
6.4.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	64
6.5.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	65
6.6.	Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	66
6.7.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	67
6.8.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	68

6.9.	Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	69
6.10.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	70
6.11.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	71
6.12.	Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	72
6.13.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	73
6.14.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	74
6.15.	Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	75
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....		76
CONCLUSIONES.....		77
RECOMENDACIONES.....		78
REFERENCIAS.....		79
ANEXOS.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Elementos geométricos de secciones de canal.....	10
Tabla 2: Criterios de clasificación de un vertedor.....	12
Tabla 3: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	17
Tabla 4: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	19
Tabla 5: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	21
Tabla 6: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	22
Tabla 7: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	24
Tabla 8: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	26
Tabla 9: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	27
Tabla 10: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	29
Tabla 11: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	31
Tabla 12: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	32
Tabla 13: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	34
Tabla 14: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	36
Tabla 15: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$	37
Tabla 16: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$	39
Tabla 17: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$	41
Tabla 18: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$	61
Tabla 19: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$	62
Tabla 20: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$	63
Tabla 21: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$	64
Tabla 22: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$	65
Tabla 23: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$	66
Tabla 24: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$	67
Tabla 25: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$	68
Tabla 26: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$	69
Tabla 27: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$	70
Tabla 28: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$	71
Tabla 29: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$	72
Tabla 30: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$	73
Tabla 31: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$	74
Tabla 32: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$	75
Tabla 32: Resumen de coeficientes de gasto de vertederos triangulares.....	76

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Flujo a través de vertederos.....	6
Gráfico 2: Flujo de conductos.....	8
Gráfico 3: Vertedero triangular.....	11
Gráfico 4: Vertedero triangular.....	12
Gráfico 5: Esquema tipo de un vertedero triangular.....	13
Gráfico 6: Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$	17
Gráfico 7: Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$	19
Gráfico 8: Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$	20
Gráfico 9: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$	22
Gráfico 10: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$	24
Gráfico 11: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$	25
Gráfico 12: Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$	27
Gráfico 13: Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$	29
Gráfico 14: Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$	30
Gráfico 15: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$	32
Gráfico 16: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$	34
Gráfico 17: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$	35
Gráfico 18: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$	37
Gráfico 19: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$	39
Gráfico 20: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$	40
Gráfico 21: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$	43
Gráfico 22: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$	43
Gráfico 23: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$	44
Gráfico 24: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$	44
Gráfico 25: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$	45
Gráfico 26: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$	45
Gráfico 27: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$	46
Gráfico 28: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$	46
Gráfico 29: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$	47
Gráfico 30: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$	47
Gráfico 31: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$	48
Gráfico 32: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$	48
Gráfico 33: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$	49
Gráfico 34: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$	49

Gráfico 35: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$50

Gráfico 36: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$50

Gráfico 37: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$51

Gráfico 38: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$51

Gráfico 39: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$52

Gráfico 40: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$52

Gráfico 41: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$53

Gráfico 42: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$53

Gráfico 43: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$54

Gráfico 44: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$54

Gráfico 45: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$55

Gráfico 46: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$55

Gráfico 47: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$56

Gráfico 48: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$56

Gráfico 49: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$57

Gráfico 50: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$57

Gráfico 51: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$61

Gráfico 52: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$62

Gráfico 53: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$63

Gráfico 54: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$64

Gráfico 55: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$65

Gráfico 56: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$66

Gráfico 57: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$67

Gráfico 58: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$68

Gráfico 59: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$69

Gráfico 60: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$70

Gráfico 61: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$71

Gráfico 62: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$72

Gráfico 63: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$73

Gráfico 64: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$74

Gráfico 65: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$75

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluaron los coeficientes de gasto en vertederos de sección triangular de pared delgada, con diferentes ángulos, caudales y pendientes, comparándolas con fórmulas comúnmente utilizadas para este tipo de vertederos como son los coeficientes de gasto, utilizados en el canal de pendiente variable.

La parte experimental se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte (UPNC), el laboratorio cuenta con un canal de pendiente variable y con un vertedero triangular de material acrílico de espesor de (8mm) y ángulo de 90°, ya que los otros vertederos se los tuvo que elaborar de material porcelanato de espesor de (8mm) de ángulos de 15°, 30°, 45° y 60° para poder realizar los ensayos en un rango de caudales. Los resultados obtenidos del trabajo experimental establecen que las variables son: el ángulo, el caudal y las pendientes, todas en función de las alturas que influyen en la determinación de los coeficientes de gasto, siendo estos valores variables de acuerdo a las diferentes características que influyen en los ensayos de vertederos como: el ángulo, la altura, el caudal y la pendiente, donde para caudales pequeños los coeficientes de gasto son mayores y para caudales mayores los coeficientes de gasto son menores, ya que varía de acuerdo de como cambie, la altura, el caudal, el ángulo y la pendiente, y así podremos encontrar los coeficientes de gasto para los diferentes vertederos triangulares de pared delga de ángulos: 15°, 30°, 45°, 60° y 90° y pendientes de 1%, 2% y 4% en el canal de pendiente variable.

ABSTRACT

In the present research spending ratios they were evaluated triangular dumps thin wall section with different angles, flow and earnings, comparing them with formulas commonly used for this type of landfill such as spending ratios used in the channel variable slope.

The experimental part was held in the premises of the Hydraulics Laboratory of the Universidad Privada del Norte (UPNC), the laboratory has a variable slope channel and a notch weir acrylic material thickness (8mm) and 90 ° as other landfills had to prepare the porcelain material thickness (8mm) of angles 15 °, 30 °, 45 ° and 60 ° to perform tests over a range of flow rates. The results of the experimental work established that the variables are the angle, and the remaining flow, all depending on the heights influencing determining spending ratios, with these variable values according to different characteristics that influence in trials of landfills as the angle, height, flow and slope where small streams spending ratios are higher and higher flows spending ratios are lower, as it varies according to such changes, the height, volume, angle and slope, so we can find spending ratios for different triangular dumps delga wall angles: 15 °, 30 °, 45 °, 60 ° and 90 ° and slopes of 1% 2% and 4% in the channel variable slope.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial:

El laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia permite la realización de pruebas hidrostáticas con fluidos, en los que puede realizarse estudio de capilaridad, entre otros; en la sección de máquinas hidráulicas se llevan a cabo estudios de pérdidas de presión, de configuración de equipo de bombeo en serie y en paralelo, generación de potencia en turbinas Pelton y Francis, un sistema hidráulico de alimentación (motobombas, tuberías, válvulas, etc.), un “ banco de pruebas” (que puede ser un modelo físico o un banco de ensayos – un canal, un sistema de tuberías, etc.), En el Laboratorio de Hidráulica se realizan prácticas en Mecánica de Fluidos, Hidráulica. (Mejía, 2013)

El laboratorio de Hidráulica marítima ayuda en el desarrollo y la construcción de grandes obras portuarias, la Ingeniería en México siempre se ha visto apoyada por los Laboratorios de Hidráulica Marítima, de tal forma, que han ayudado a que la Ingeniería Mexicana en estos tiempos sea reconocida a nivel Mundial. Siendo el Laboratorio de Hidráulica Marítima mejor equipado de los pocos que existen en Latinoamérica. (Jacinto, 2007)

El laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia tiene diseño de un canal elevado de pendiente variable, con paredes de vidrio. Construcción de un tanque elevado de cabeza constante, y reformas en el sistema de turbinas Francis y Kaplan. Diseño y operación de modelos hidráulicos reducidos para el túnel de descarga y la estructura de desfogue de la Central Hidroeléctrica de Guatapé, y para los disipadores de energía de la Central Hidroeléctrica de Guadalupe. Estos modelos reducidos fueron los primeros elaborados en Medellín, y de ellos se sacaron conclusiones y recomendaciones para las obras hidráulicas antes mencionadas. (Mahecha, 2012)

A nivel nacional:

El Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH) con sede en Lima - Perú, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) cuenta dentro de sus instalaciones con un “Canal de Pruebas”, el cual es utilizado actualmente para la calibración de vertederos y correntómetros, La calibración se realiza de acuerdo a la norma ISO 3455. (Martínez, 2013).

La Presa Poechos, ubicada en el cauce del río Chira a 40 Km al Nor Este de la Ciudad de Sullana. Es una presa de tierra de tipo terraplenado con una altura máxima de 48 m., y con cota en la corona de la presa de 108 m.s.n.m. La integran, el Dique Principal que cierra el lecho del río Chira, los diques laterales Izquierdo y Derecho; formando, un embalse de 1,000 MMC de capacidad. La estabilidad de la presa está garantizada por el estudio geotécnico realizado, y las medidas correctivas llevadas a cabo antes y después de la construcción. (Calle, 2004)

A nivel local:

En Cajamarca la medición del agua tiene una aplicación importante, ya que nos da los pasos a seguir en la solución de muchos problemas, entre los principales está el desperdicio de agua en las obras hidráulicas. Donde el control de nivel del agua y la regulación de descargas son necesarios para propósitos de transportar agua, conservación del agua, prevención y control de avenidas, navegación interior, etc. Para ello se dispone de una amplia variedad de estructuras hidráulicas de control, adecuadas a las necesidades particulares, que varían desde vertederos o compuertas utilizadas en pequeños ríos y canales, hasta obras de excedencias en grandes presas.

Por ello, el presente trabajo de investigación tiene por finalidad hacer el estudio del de coeficiente de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable con el que cuenta el laboratorio de hidráulica de la UPNC, la cual no estaban calibrados y no hay valores para éstos vertederos y puedan servir para poder realizar ensayos en laboratorio y también se tenga conocimiento para el diseño de vertederos en canales en campo que son útiles para transportar, ya que en nuestro medio no existen valores deducidos sobre coeficientes de gasto en vertederos triangulares.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los coeficientes de gasto en vertederos triangulares de pared delgada en el canal de pendiente variable - Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Privada del Norte - Cajamarca, 2015?

1.3. Justificación

La realización del presente trabajo, permitirá determinar los coeficientes de gasto de dos vertederos en el canal de pendiente variable, razón por la cual este trabajo será una aportación en la comprensión de descargas a través de este tipo de estructuras así como la determinación de gráficos y/o tablas de apoyo para estudiantes del área de hidráulica y con ello proveer un aprovechamiento óptimo en coeficientes de descarga.

Justificación teórica:

Necesidad de garantizar los coeficientes de gasto, que dependen de factores como:

- Altura del flujo sobre el vertedero
- Caudal

Justificación aplicativa o práctica:

El flujo en canales para transportar agua de tal forma que sea la adecuada para poder ser utilizada para diferentes necesidades de utilización de agua tanto en campo como en el laboratorio mismo para hacer los ensayos utilizando vertederos en el canal de pendiente variable.

Justificación valorativa:

Nos proporcionará un mayor conocimiento para poder ejercer nuestra profesión de una manera correcta y así ganar mucha más experiencia en nuestra vida laboral.

Justificación académica:

Mediante el proyecto y los conocimientos adquiridos en la Universidad Privada del Norte complementaremos nuestra formación profesional.

1.4. Limitaciones

- No se pueden medir las velocidades con el velocímetro ya que las velocidades del flujo antes de pasar por los vertederos del canal de pendiente variable son muy pequeñas.
- El laboratorio de hidráulica no disponía de vertederos triangulares de 15°, 30°, 45° y 60°, por la cual se elaboraron vertederos de material porcelanato, ya que en Cajamarca no hay material acrílico doble, material del vertedero de 90° con el que cuenta el laboratorio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Determinar los coeficientes de gasto para Vertederos triangulares en el canal de pendiente variable.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Obtener experimentalmente los coeficientes de gasto en Vertederos.
- Clasificar los coeficientes de gasto de acuerdo a su funcionamiento y condiciones del canal de donde se va a ensayar.
- Elaborar una propuesta para la determinación de los coeficientes de gasto en vertederos triangulares en el canal de pendiente variable.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Mundiales.

El control de descargas es necesario para propósitos de irrigación, energía hidroeléctrica, conservación del agua, etc. Para ello se dispone de una amplia variedad de estructuras hidráulicas de control, adecuadas a las necesidades particulares, que varían desde vertederos o compuertas utilizadas en pequeños ríos y canales, hasta obras en grandes presas. (Rosales, 2005)

Según (Ochoa, 2003) dice que los coeficientes de gasto están en función de las alturas de flujo para los ensayos que realizo de un vertedero triangular de 90° y con una pendiente del 1° se encontraron coeficientes de gasto mayor a 1, esto indica que es por el tipo de vertedero de material metálico y las alturas son más altas con las que ensayo.

Según (Meza, 2013) para el vertedero ángulo de 90° los valores se pasan de los límites, con rangos de Cd (0,65 – 0,75), mayores que los Cd calibrados (0,50-0,60) pero aproximados a su valor real. Estas diferencias se deben a pequeñas fuentes de errores originados en la toma de datos de caudal, más específicamente con el volumen, generando una fuente de error del 0,10 kg/m³. Lo que al final se ve reflejado con los diferentes valores del coeficiente de gasto.

Nacionales.

Las obras hidráulicas en los sistemas de aprovechamiento tienen como objetivo controlar y conducir el volumen de agua necesario o el excedente hasta el sitio en que se aprovecha o hacia el cauce del río. (Matínez, 2011).

Según (Garía, 2012) habla sobre el mal aprovechamiento de agua en el Perú ya que no se le da un buen mantenimiento a las represas y las malas construcciones, por las cuales no hay un buen control de poder transportar agua para el uso adecuado que se le debe dar.

Locales.

No existen investigaciones similares sobre canales o vertederos, ya que no se han encontrado valores de coeficientes de gasto en vertederos en Cajamarca.

2.2. Bases Teóricas

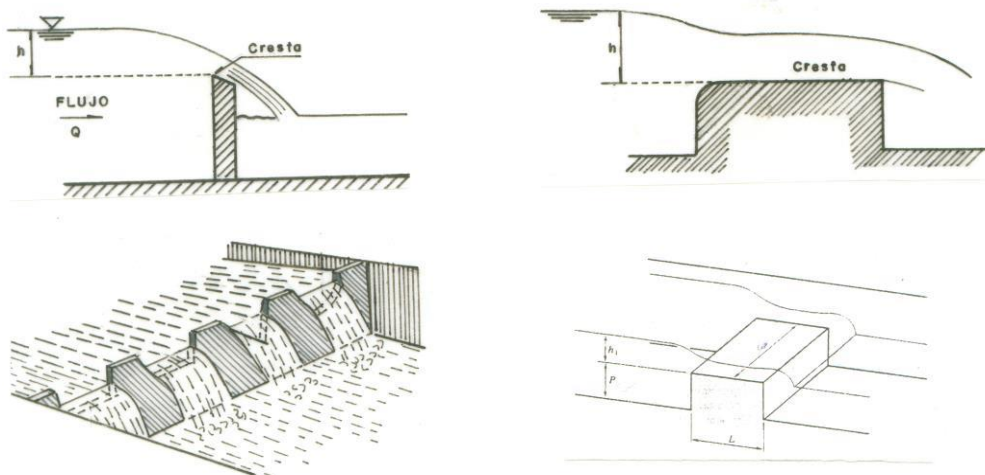
2.2.1. Definición de vertedero.

Un vertedero es un dique o pared que presenta una escotadura de forma regular, a través de la cual fluye una corriente líquida. Véase el Gráfico 1. El vertedero intercepta la corriente, causando una elevación del nivel aguas arriba, y se emplea para controlar niveles (vertederos de rebose) y/o para medir caudales (vertederos de medida). (Pérez, 2005)

Los vertederos triangulares permiten obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) correspondientes a caudales reducidos. Por lo general son construidos de placas metálicas. (Monroy, 2010)

Este vertedor se puede describir mejor como un corte en V ubicado simétricamente en una placa delgada que es perpendicular al fondo y a los lados del canal abierto. Dentro de esta categoría se tienen tres subdivisiones: Totalmente contraídos, Parcialmente contraídos y Sin contracciones. (Pérez, 2005)

Gráfico 1. Flujo a través de vertederos



Fuente. (Pérez, 2005)

La arista o superficie más elevada del vertedero, que está en contacto con el agua, se llama cresta. La altura h de la lámina de fluido sobre la cresta, responsable de la descarga, se llama cabeza o carga del vertedero. (Pérez, 2005)

El flujo a través del vertedero tiene su motor en la fuerza de gravedad y el uso frecuente de los vertederos de pared delgada, como aforadores, se debe a que son estructuras de construcción sencilla y, principalmente, por la facilidad de determinar, con bastante aproximación, el caudal del flujo en un canal, a partir de la carga del vertedero, h . (Pérez, 2005)

2.2.2. Canal hidrodinámico de pendiente variable.

El canal hidrodinámico es un equipo básico de composición modular con el que se pueden hacer numerosos ensayos visibles al comportamiento de las corrientes. Este ofrece muchos aspectos interesantes de la investigación y de la teoría y con el uso de amplios accesorios, la posibilidad de realizar ensayos en todos los sectores de la hidráulica. El cual utilizamos para poder desarrollar las pruebas que finalmente nos proporcionen los datos característicos del fluido, y a partir de éstos, obtengamos los coeficientes de gasto para el medidor venturí, en el cual realizamos los ensayos. (Pérez, 2005)

En 1889 el Ingeniero Irlandés Robert Manning presentó una ecuación para determinar el valor de “C”, en función del radio hidráulico y la rugosidad del material del cual está construido el canal. Esta ecuación es el resultado del proceso de ajuste de curvas, por tanto es completamente empírica.

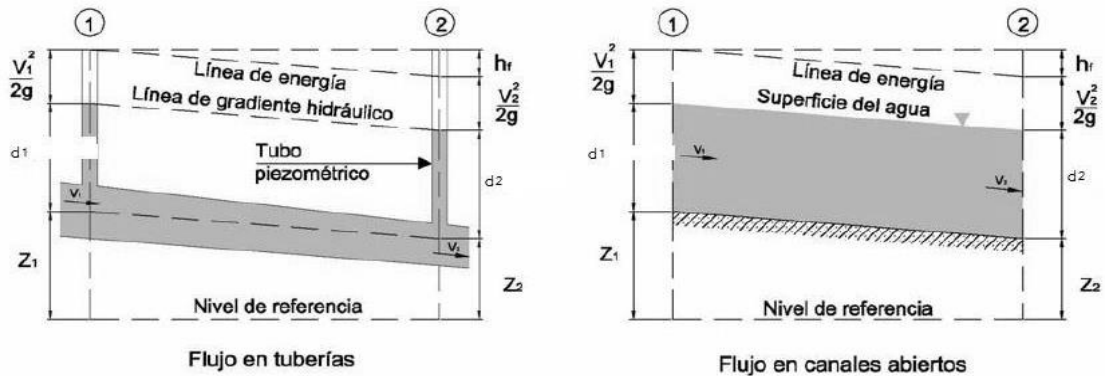
La ecuación de Manning más adelante fue modificada y simplificada hasta llegar a su conocida forma actual. Para utilizar la ecuación de Manning debemos conocer el sistema de unidades a utilizar, para que se utilice el coeficiente apropiado. (Fernández, 2008)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Descripción general de los canales hidráulicos.

El flujo de agua en un conducto puede ser: flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujo son similares en muchos aspectos pero se diferencian en un aspecto importante. El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto. Una superficie libre está sometida a la presión atmosférica. (Monroy, 2010)

Gráfico 2. Flujo de conductos.



Fuente. (Monroy, 2010)

A pesar de la similitud que existe entre estos dos tipos de flujo, es mucho más difícil resolver problemas de flujo en canales abiertos que en tuberías a presión. Las condiciones de flujo en canales abiertos se complican por el hecho de que la posición de la superficie libre puede cambiar con el tiempo y con el espacio, y también por el de que la profundidad de flujo, caudal y las pendientes del fondo del canal de la superficie libre son interdependientes. Así como se muestra en la figura. La superficie en canales abiertos varía desde metales pulidos utilizados en canales de prueba hasta lechos rugosos e irregulares en ríos. El flujo en un conducto cerrado no es necesariamente flujo en tubería. Si tiene una superficie libre, puede clasificarse como flujo en canal abierto, por ejemplo un alcantarillado se diseña para operar como canal abierto. (Monroy, 2010)

2.3.2. Flujo permanente y flujo no permanente

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es no permanente si la profundidad de flujo cambia con respecto al tiempo en consideración. Cuando se estudian los fenómenos de creciente y oleadas por ejemplo, son casos comunes de flujo no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control. (Monroy, 2010)

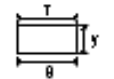
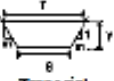


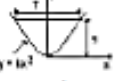
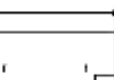
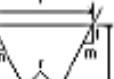
2.3.3. Elementos geométricos de una sección de canal.

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo.

Para secciones regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección, pero para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos. (Mejía, 2013)

A continuación se dan las definiciones de varios elementos geométricos de importancia básica:

Tabla1: Elementos geométricos de secciones de canal.

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico $R_h = A/P$	Ancho superior T	Profundidad hidráulica $D = A/T$	Factor de sección Z	Profundidad centroital y
 Rectangular	$B y$	$B + 2y$	$\frac{B y}{B + 2y}$	B	y	$B y^{1.5}$	$\frac{y}{2}$
 Trapezoidal	$(B + m y) y$	$B + 2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(B + m y) y}{B + 2y\sqrt{1 + m^2}}$	$B + 2m y$	$\frac{(B + m y) y}{B + 2m y}$	$\frac{[(B + m y) y]^{1.5}}{\sqrt{B + 2m y}}$	$\frac{m y^3}{3} + \frac{B y^2}{2}$ $(B + m y) y$
 Triangular	$m y^2$	$2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{m y}{2\sqrt{1 + m^2}}$	2m y	$\frac{1}{2} y$	$\frac{\sqrt{2}}{2} m y^{2.5}$	$\frac{y}{3}$
 Circular	$\frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) d_0^2$	$\frac{1}{2} \theta d_0$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right) d_0$	$\left(\frac{\text{sen } \frac{\theta}{2}}{2}\right) d_0$ $\frac{d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$	$\frac{1}{8} \left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{\theta}{2}}\right) d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32} (\theta - \text{sen } \theta)^{1.5} d_0^{2.5}$ $\left(\frac{\text{sen } \frac{\theta}{2}}{2}\right)^{1.5} d_0^{2.5}$	$y - \frac{d_0}{2} + \frac{T^3}{12A}$
 Parabólica	$\frac{4}{3} \sqrt{\frac{y^3}{k}}$	$T + \frac{8}{3} \frac{y^2}{T}$	$\frac{2T^3 y}{3T^2 + 8y^2}$	$2\sqrt{\frac{y}{k}}$	$\frac{2}{3} y$	$\frac{2}{9} \sqrt{k} T y^{1.5}$	$\frac{2}{5} y$
 Rectangular con esquinas redondeadas ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right) r^2 + (B + 2r)y$	$(\pi - 2)r + B + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (B + 2r)y}{(\pi - 2)r + B + 2y}$	$B + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{B + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (B + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{B + 2r}}$	
 Triangular con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4m} - \frac{r^2}{m} (1 - m \cot^{-1} m)$	$\frac{T}{m} \sqrt{1 + m^2} - \frac{2r}{m} (1 - m \cot^{-1} m)$	$\frac{A}{P}$	$2[m(y - r) + r\sqrt{1 + m^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A \sqrt{\frac{A}{T}}$	

Fuente: (Mejía, 2013)

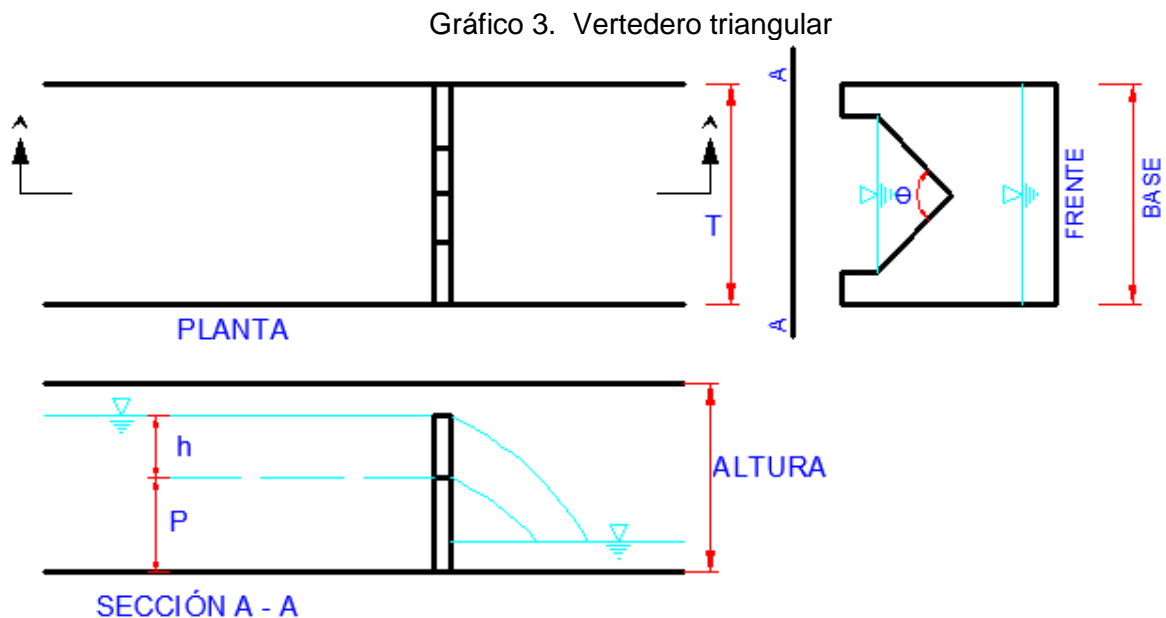
2.3.4. La profundidad de flujo

Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de éste, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. (Mejía, 2013)

- **El nivel:** es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia o “datum” hasta la superficie libre, no obstante, si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad de flujo. (Mejía, 2013)

2.3.5. Vertedero triangular

Este vertedor se puede describir mejor como un corte en V ubicado simétricamente en una placa delgada que es perpendicular al fondo y a los lados del canal abierto. Dentro de esta categoría se tienen dos subdivisiones:



Fuente. (Rosales, 2005)

En la (Tabla 2), se especifican los criterios geométricos para la clasificación de este tipo de vertedor como total o parcialmente contraído.

Tabla 2. Criterios de clasificación de un vertedor triangular de cresta delgada, como de flujo parcial o totalmente contraído.

Vertedor parcialmente contraído	Vertedor totalmente contraído
$h_1/p \leq 1.2$	$h_1/p \leq 0.4$
$h_1/T \leq 0.4$	$h_1/T \leq 0.2$
$0.16 < h_1 \leq 2 \text{ ft}$	$0.16 < h_1 \leq 1.25 \text{ ft}$
$p \geq 0.3 \text{ ft}$	$p \geq 1.5 \text{ ft}$
$T \leq 2 \text{ ft}$	$T \leq 2 \text{ ft}$

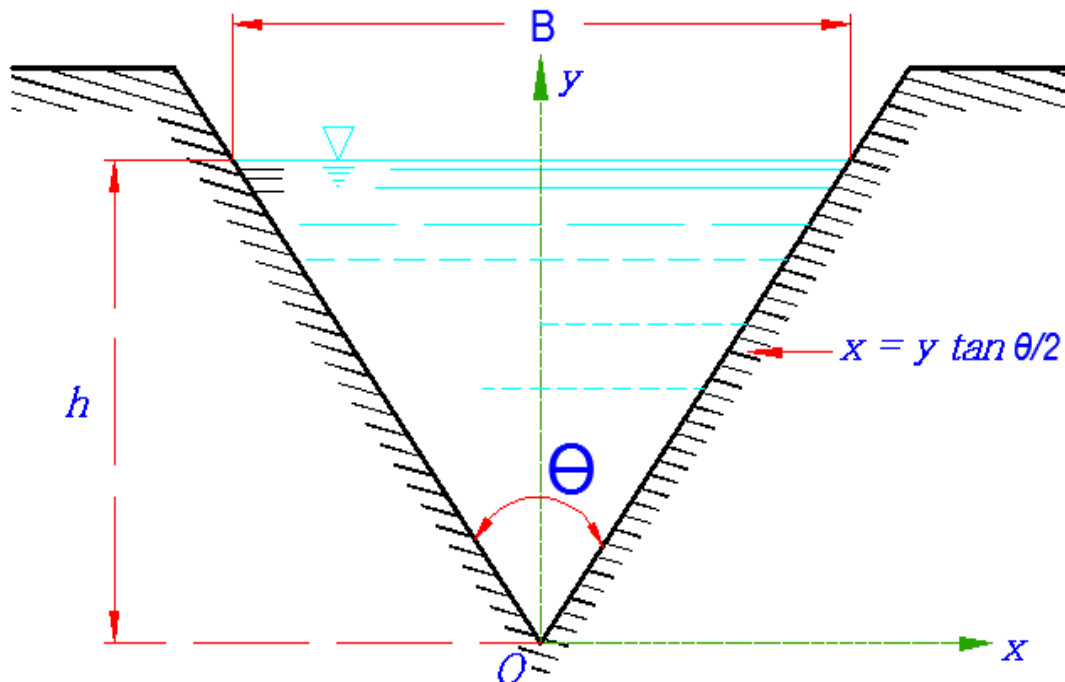
Fuente. (Rosales, 2005)

Este tipo de vertedero se emplea con frecuencia para medir caudales pequeños (inferiores aproximadamente a 6 l/s). En la Gráfico 4. Se muestra un esquema de la geometría de este tipo de vertedero. El ángulo θ puede tomar cualquier valor, aunque es muy frecuente el vertedero con $\theta = 90^\circ$. (Rosales, 2005)

2.3.6. Ecuaciones para vertedor triangular de pared delgada

Cuando el vertedero es de sección triangular (Gráfico 4) simétrica respecto del eje vertical y con ángulo en el vértice, el valor x de la ecuación es.

Gráfico 4. Vertedero triangular



Fuente. (Rosales, 2005)

$$X = y \tan \frac{\theta}{2}$$

Y la (Ecuación del Gasto) es:

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

La cual se puede integrar por un procedimiento de sustitución. En efecto, haciendo $z = hy$, entonces $y = hz$, $dy = dz$. Los límites de integración serían para $y = 0$, $z = 0$ y para $y = h$, $z = 1$; la ecuación anterior sería entonces:

$$Q_t = 2\sqrt{2g} \cdot Cd \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \int_0^1 z^{\frac{1}{2}} (h-z) \cdot dz = -2\sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \left[\frac{2hz^{\frac{3}{2}}}{3} - \frac{2}{5} z^{\frac{5}{2}} \right]_0^1$$

Tomando límites y substituyendo nuevamente a z , se obtiene:

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

Dónde:

Q_t = Caudal teórico

Cd = Coeficiente de gasto

h = Altura

θ = Ángulo

g = Gravedad → Valor de la gravedad (9.81 m/seg²)

O bien

$$Q_t = Cd \cdot h^{\frac{5}{2}}$$

Donde Cd depende del θ .

2.3.7. Coeficientes de gasto

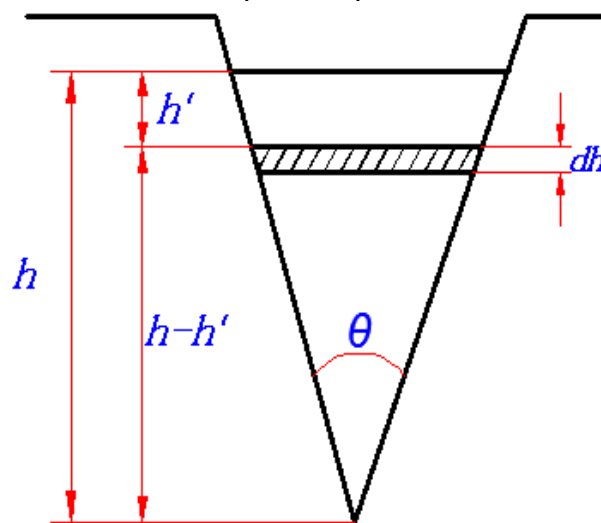
Igualmente puede determinarse la expresión que relaciona el caudal y la profundidad de flujo sobre la cresta de un vertedero triangular de pared delgada. Este tipo de vertederos se emplean también para la medición de caudales, obteniéndose una mejor precisión debido a que presentan mayor carga para un mismo caudal. Sin embargo por esta misma razón, se limita a la medición de caudales pequeños. (Rosales, 2005)

Ecuación:

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

Donde θ es el ángulo de abertura para un vertedero simétrico.

Gráfico 5. Esquema tipo de un vertedero triangular.



Fuente. (Rosales, 2005)

Igualmente, se determina el coeficiente C_d para hallar el QR, tal como se muestra en la ecuación.

$$C_d = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Dónde:

C_d = Coeficiente de gasto

Q_r = Caudal real

Q_t = Caudal teórico

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

- Los coeficientes de gasto en vertederos triangulares son variables de acuerdo al ángulo, caudal, altura y pendiente en un canal de pendiente variable.

VARIABLES

- Coeficientes de gasto en vertederos.
- Pendiente en el canal longitudinal.
- Angulo de vertedero triangular.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Coeficientes de gasto	El coeficiente de gasto de un vertedero debe variar poco en función de la altura, En los coeficientes de gasto debe influir, todos los ángulos, caudales, alturas y pendientes; es decir, que el coeficiente debe de ser variable de acuerdo a las diferentes características de los vertederos y la pendiente (canal de pendiente variable).	Adimensional	

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Caudal del flujo	Es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.	Tiempo	seg.
		Volumen	Lts / seg.
		Velocidad	m/seg

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Pendiente del canal	Es el grado de inclinación, es decir que hace referencia a algo que está inclinado o en declive.	Pendiente	% desnivel

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Ángulo	Es la porción indefinida de un plano comprendida entre dos semirrectas que tienen el mismo punto de origen o vértice. Cuya abertura suelen medirse en unidades tales como el radián, el grado sexagesimal o el grado centesimal.	$\Theta, \alpha, \beta.$	Grados ($^{\circ}$) y/o Radianes

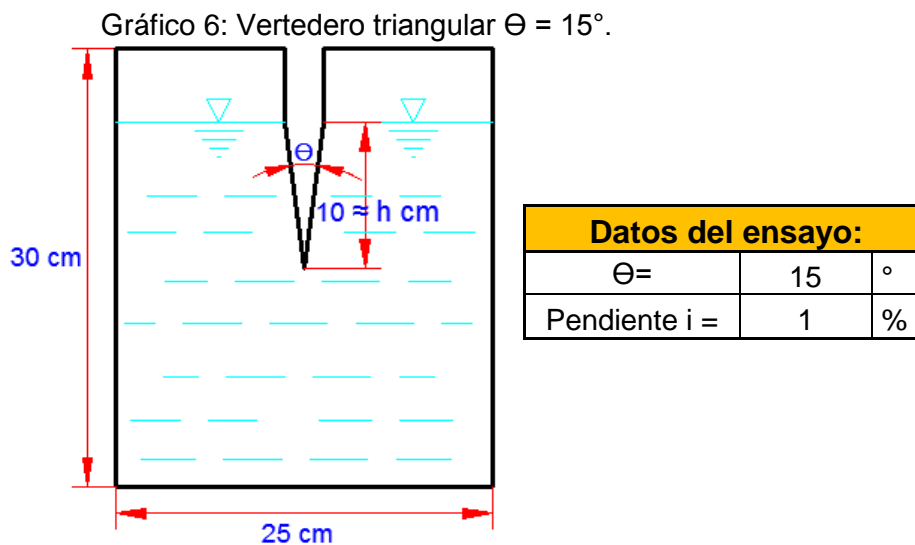
CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

4.1. Generalidades

Como se mencionó anteriormente debido a la tendencia para la utilización de vertederos en el diseño de canales en la zona rural es que se realiza éste estudio para determinar los coeficientes de gasto e identificar cómo varían de acuerdo al ángulo, caudal y pendiente, para la construcción de vertederos en canales de riego u otros canales para transportar agua. Debido a esto, se plantea el realizar ensayos para determinar los coeficientes de gasto para dichos vertederos triangulares de pared delgada en el canal de pendiente variable de la UPNC.

4.2. Procesamiento de datos

4.2.1. Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 3: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

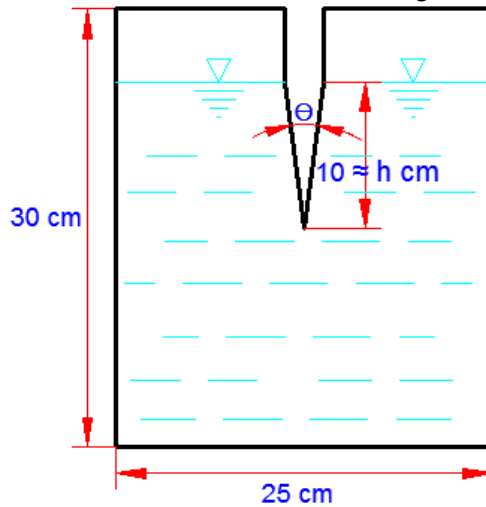
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	35.29	35.82	17.640	17.850	8.00
	2	36.25		18.000		
	3	35.93		17.910		
	4	36.10		17.900		
	5	35.53		17.780		
2	1	40.82	40.43	18.220	17.780	7.60

	2	40.21		17.510		
	3	40.21		17.600		
	4	40.53		17.780		
	5	40.39		17.770		
	1	45.22		17.630		
3	2	47.51	46.63	18.390	17.980	7.20
	3	47.99		18.220		
	4	46.52		17.800		
	5	45.93		17.880		
	1	50.35		17.480		
4	2	51.54	51.65	17.860	17.740	6.70
	3	53.03		17.900		
	4	52.23		17.820		
	5	51.12		17.640		
	1	73.70		17.770		
5	2	75.75	74.83	17.940	17.970	5.80
	3	76.91		19.230		
	4	73.54		17.540		
	5	74.27		17.370		
	1	90.58		17.950		
6	2	88.21	89.56	17.730	17.880	5.30
	3	89.34		17.870		
	4	91.12		18.060		
	5	88.56		17.770		
	1	114.77		18.110		
7	2	110.24	111.35	17.840	17.900	4.80
	3	109.57		17.730		
	4	111.43		17.960		
	5	110.76		17.880		
	1	142.52		17.920		
8	2	141.34	141.67	17.880	17.900	4.20
	3	140.76		17.870		
	4	142.89		18.000		
	5	140.84		17.830		
	1	219.85		18.280		
9	2	218.45	218.44	18.000	18.010	3.20
	3	217.65		17.880		
	4	218.03		17.920		
	5	218.23		17.960		
	1	351.43		18.000		
10	2	350.78	351.13	17.880	17.950	2.10
	3	351.26		17.920		
	4	351.33		17.950		
	5	350.83		17.980		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.2. Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 7: Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	15	$^\circ$
Pendiente $i =$	2	%

Fuente: Elaboración propia, 2014

Tabla 4: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

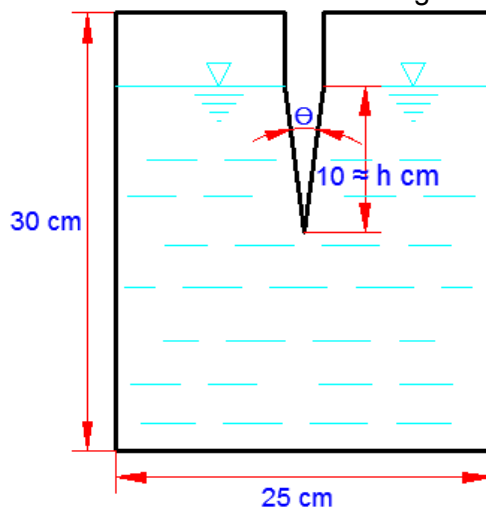
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	25.16	25.36	17.690	17.700	9.10
	2	25.09		17.560		
	3	25.47		17.700		
	4	25.35		17.750		
	5	25.72		17.820		
2	1	27.68	28.72	17.350	17.650	8.50
	2	28.90		17.700		
	3	29.05		17.520		
	4	28.83		17.730		
	5	29.13		17.930		
3	1	33.65	33.67	18.000	17.990	8.00
	2	33.90		18.028		
	3	34.00		18.016		
	4	33.23		17.920		
	5	33.57		17.970		
4	1	40.88	39.35	18.500	18.050	7.50
	2	39.02		18.000		
	3	39.81		18.020		
	4	38.67		17.890		
	5	38.35		17.830		
5	1	49.94	50.74	18.000	17.940	6.70
	2	51.10		17.950		
	3	51.15		17.970		

	4	50.67		17.870		
	5	50.85		17.920		
6	1	63.22	62.05	18.200	17.870	5.90
	2	60.34		17.570		
	3	61.64		17.780		
	4	62.73		17.920		
	5	62.34		17.880		
7	1	88.90	87.82	18.000	17.830	5.10
	2	86.85		17.690		
	3	87.45		17.730		
	4	88.23		17.900		
	5	87.67		17.810		
8	1	100.54	99.95	17.700	17.730	4.80
	2	100.76		17.790		
	3	98.56		17.570		
	4	99.63		17.730		
	5	100.25		17.860		
9	1	142.25	140.93	18.340	18.010	4.10
	2	140.34		17.930		
	3	140.78		17.970		
	4	139.83		17.830		
	5	141.47		18.000		
10	1	258.86	257.78	18.000	17.920	2.90
	2	256.75		17.820		
	3	258.04		17.930		
	4	257.38		17.890		
	5	257.86		17.940		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.3. Datos de vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 8: Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	15	°
Pendiente $i =$	4	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 5: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

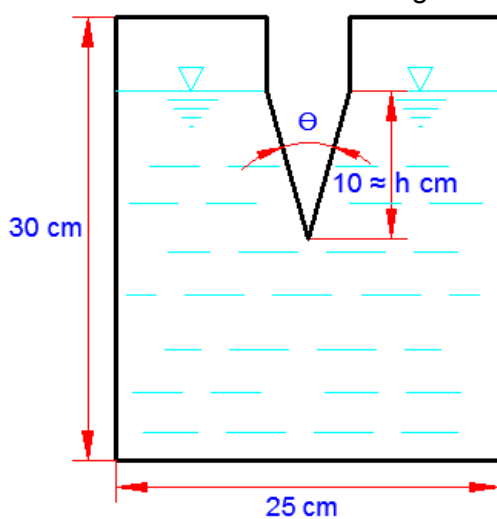
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	22.35	21.67	17.610	17.680	9.50
	2	21.75		17.600		
	3	21.77		17.860		
	4	20.96		17.580		
	5	21.54		17.740		
2	1	31.72	31.94	17.900	17.940	8.10
	2	32.32		18.000		
	3	32.05		17.970		
	4	31.64		17.870		
	5	31.97		17.960		
3	1	38.83	37.41	18.630	18.040	7.50
	2	37.57		18.000		
	3	36.43		17.770		
	4	37.26		17.870		
	5	36.97		17.940		
4	1	42.63	41.98	18.000	17.900	7.10
	2	42.48		18.000		
	3	40.83		17.730		
	4	41.78		17.840		
	5	42.19		17.950		
5	1	49.12	49.72	17.850	17.870	6.60
	2	49.66		17.840		
	3	50.93		17.960		
	4	48.84		17.770		
	5	50.07		17.930		
6	1	59.25	61.41	17.440	17.670	6.00
	2	61.22		17.470		
	3	62.76		17.930		
	4	61.58		17.650		
	5	62.23		17.850		
7	1	84.29	85.12	17.450	17.610	5.00
	2	84.57		17.450		
	3	86.09		17.880		
	4	85.75		17.730		
	5	84.92		17.530		
8	1	130.85	132.20	17.470	17.640	4.00
	2	132.04		17.630		
	3	133.74		17.830		
	4	131.56		17.540		
	5	132.83		17.750		
9	1	210.25	210.98	18.000	17.930	3.00
	2	207.65		17.550		
	3	213.07		18.120		

	4	212.11		18.030		
	5	211.83		17.940		
10	1	337.53	337.50	17.960	17.910	2.50
	2	340.03		18.040		
	3	336.85		17.870		
	4	335.98		17.760		
	5	337.12		17.930		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.4. Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 9: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	30	$^\circ$
Pendiente $i =$	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 6: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

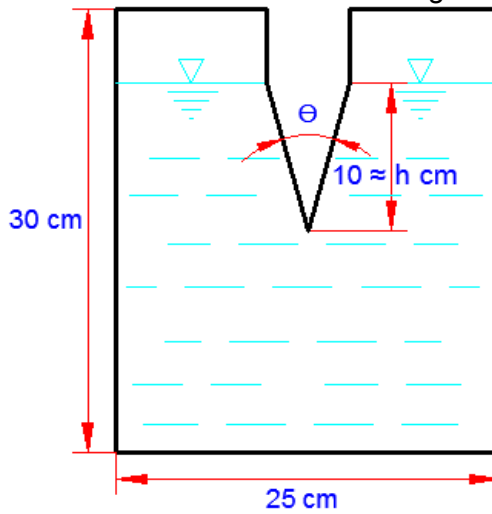
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	15.32	15.41	17.500	17.620	9.40
	2	15.29		17.600		
	3	15.15		17.400		
	4	15.76		17.930		
	5	15.54		17.680		
2	1	17.98	18.10	17.620	17.590	8.80
	2	17.66		17.050		
	3	18.24		17.740		
	4	18.53		17.830		
	5	18.07		17.690		
3	1	20.41	21.37	17.240	17.560	8.30
	2	20.39		17.230		
	3	22.56		17.910		
	4	21.37		17.660		

	5	22.12		17.770		
4	1	27.52	27.49	17.720	17.730	7.50
	2	27.35		17.750		
	3	26.99		17.500		
	4	27.83		17.870		
	5	27.76		17.800		
5	1	35.07	35.78	17.700	17.840	6.80
	2	36.29		17.920		
	3	36.07		17.890		
	4	35.84		17.870		
	5	35.61		17.820		
6	1	52.46	52.04	17.980	17.890	5.90
	2	52.92		18.180		
	3	50.75		17.680		
	4	52.21		17.730		
	5	51.86		17.890		
7	1	70.02	70.70	17.600	17.720	5.10
	2	70.21		17.570		
	3	71.87		17.970		
	4	70.63		17.680		
	5	70.78		17.790		
8	1	117.44	116.55	18.000	17.860	4.20
	2	115.63		17.670		
	3	116.98		17.940		
	4	116.47		17.860		
	5	116.21		17.830		
9	1	183.12	182.19	17.960	17.760	3.60
	2	180.83		17.460		
	3	181.74		17.650		
	4	182.43		17.840		
	5	182.81		17.890		
10	1	391.30	390.27	18.030	17.920	2.70
	2	389.73		17.830		
	3	390.65		17.940		
	4	390.07		17.870		
	5	389.62		17.930		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.5. Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 10: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	30	$^\circ$
Pendiente $i =$	2	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 7: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

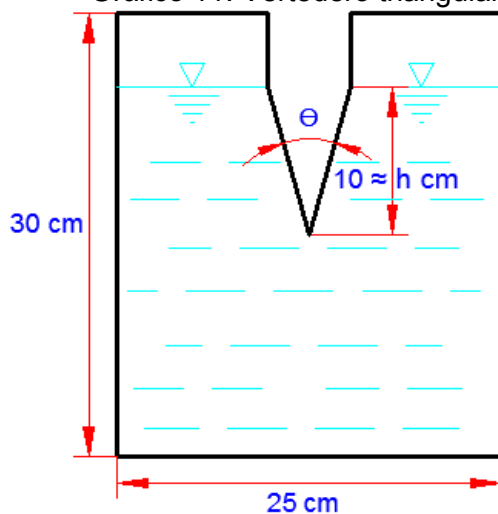
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	14.95	15.30	17.350	17.550	9.40
	2	14.60		16.870		
	3	15.38		17.760		
	4	15.92		17.940		
	5	15.64		17.840		
2	1	18.13	19.26	16.960	17.580	8.70
	2	18.80		17.560		
	3	19.73		17.790		
	4	19.62		17.730		
	5	20.03		17.840		
3	1	21.15	22.14	17.580	17.780	8.30
	2	21.09		17.640		
	3	23.07		17.970		
	4	22.84		17.870		
	5	22.56		17.820		
4	1	24.35	24.68	17.800	17.820	7.90
	2	23.82		17.610		
	3	25.42		17.940		
	4	24.83		17.870		
	5	24.97		17.860		
5	1	28.27	28.91	17.640	17.900	7.40
	2	29.59		18.210		
	3	29.17		18.000		

	4	28.83		17.860		
	5	28.69		17.810		
6	1	33.43	34.04	17.690	17.700	6.90
	2	33.78		17.490		
	3	34.07		17.640		
	4	34.58		17.870		
	5	34.36		17.820		
7	1	45.42	45.00	18.100	17.790	6.20
	2	44.42		17.400		
	3	45.23		17.940		
	4	45.06		17.880		
	5	44.88		17.640		
8	1	68.87	69.30	17.560	17.740	5.30
	2	69.63		17.820		
	3	69.35		17.780		
	4	68.92		17.670		
	5	69.71		17.880		
9	1	129.51	128.74	17.960	17.870	4.20
	2	127.73		17.770		
	3	128.14		17.830		
	4	128.93		17.880		
	5	129.38		17.920		
10	1	172.03	171.37	18.030	17.890	3.60
	2	170.68		17.790		
	3	170.92		17.870		
	4	171.83		17.810		
	5	171.37		17.950		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.6. Datos de vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 11: Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	30	°
Pendiente $i =$	4	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 8: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

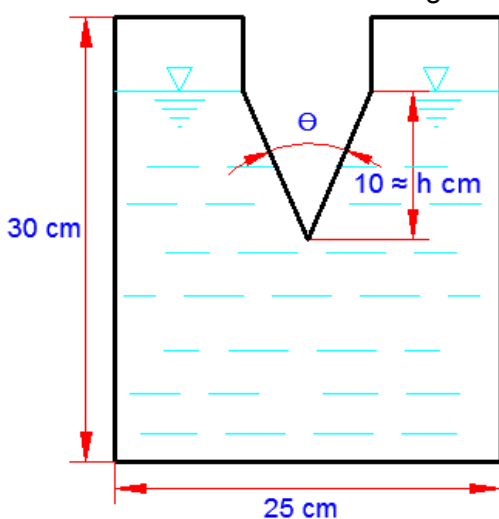
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	14.53	15.15	17.680	17.820	9.40
	2	15.87		17.950		
	3	15.25		17.890		
	4	14.91		17.740		
	5	15.18		17.860		
2	1	16.08	17.31	17.380	17.720	8.90
	2	18.13		17.950		
	3	17.87		17.880		
	4	16.91		17.660		
	5	17.56		17.720		
3	1	18.69	19.52	17.600	17.790	8.60
	2	19.96		17.960		
	3	19.73		17.790		
	4	19.39		17.730		
	5	19.81		17.880		
4	1	21.32	22.16	17.500	17.720	8.10
	2	22.56		17.830		
	3	22.72		17.870		
	4	21.95		17.620		
	5	22.27		17.790		
5	1	25.11	25.58	17.350	17.660	7.70
	2	25.86		17.850		
	3	26.03		17.890		
	4	25.33		17.540		
	5	25.58		17.670		
6	1	31.73	31.52	17.950	17.870	7.00
	2	31.57		17.880		
	3	31.29		17.780		
	4	31.63		17.900		
	5	31.38		17.830		
7	1	42.36	42.11	18.000	17.890	6.20
	2	41.86		17.770		
	3	42.17		17.890		
	4	41.93		17.830		
	5	42.22		17.960		
8	1	58.95	59.43	17.600	17.790	5.50
	2	59.54		17.820		
	3	59.73		17.890		
	4	59.32		17.790		
	5	59.62		17.860		
9	1	126.06	125.87	18.000	17.940	4.10
	2	125.81		17.880		
	3	125.72		17.840		

	4	125.87		17.950		
	5	125.91		18.030		
10	1	253.86	253.63	17.960	17.840	3.00
	2	253.37		17.770		
	3	253.69		17.820		
	4	253.77		17.880		
	5	253.48		17.790		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.7. Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 12. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	45	°
Pendiente $i =$	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 9: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

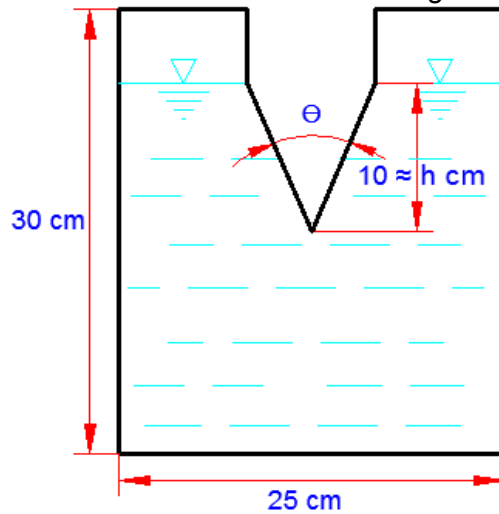
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	8.68	9.10	16.620	17.320	9.60
	2	9.19		17.500		
	3	9.09		17.200		
	4	9.23		17.580		
	5	9.31		17.690		
2	1	10.41	10.50	17.600	17.720	9.10
	2	10.34		17.700		
	3	10.75		17.890		
	4	10.43		17.650		
	5	10.59		17.760		
3	1	11.75	11.65	17.800	17.670	8.70
	2	11.37		17.300		
	3	11.83		17.900		
	4	11.67		17.700		

	5	11.61		17.650		
4	1	12.47	12.51	17.300	17.600	8.40
	2	12.37		17.500		
	3	12.56		17.700		
	4	12.63		17.850		
	5	12.52		17.650		
5	1	14.19	14.50	17.600	17.780	7.90
	2	14.67		17.850		
	3	14.73		17.950		
	4	14.54		17.800		
	5	14.39		17.700		
6	1	17.40	17.37	17.950	17.930	7.30
	2	17.56		18.150		
	3	17.32		17.900		
	4	17.24		17.750		
	5	17.35		17.900		
7	1	22.07	22.16	17.650	17.720	6.60
	2	22.00		17.580		
	3	22.31		17.880		
	4	22.17		17.700		
	5	22.24		17.800		
8	1	25.25	25.65	17.580	17.830	6.10
	2	25.82		17.930		
	3	25.74		17.870		
	4	25.76		17.950		
	5	25.69		17.800		
9	1	41.23	40.95	18.130	17.890	5.00
	2	40.71		17.700		
	3	41.06		17.950		
	4	40.92		17.860		
	5	40.85		17.830		
10	1	104.82	104.78	17.950	17.910	3.40
	2	104.76		17.870		
	3	104.84		17.970		
	4	104.78		17.900		
	5	104.69		17.840		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.8. Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 13: Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	45	°
Pendiente $i =$	2	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 10: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

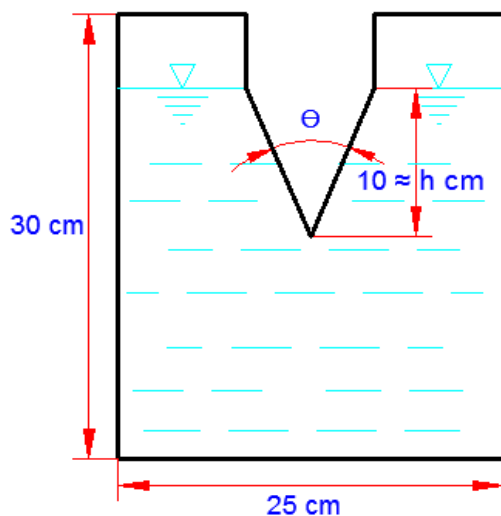
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	9.97	10.07	17.700	17.950	9.40
	2	10.03		18.000		
	3	10.32		18.220		
	4	10.17		17.940		
	5	9.88		17.870		
2	1	12.56	12.60	17.760	17.820	8.50
	2	12.57		17.840		
	3	12.63		17.870		
	4	12.71		17.940		
	5	12.55		17.710		
3	1	14.63	14.99	17.460	17.620	7.90
	2	15.06		17.570		
	3	14.86		17.480		
	4	15.23		17.850		
	5	15.17		17.760		
4	1	17.17	17.20	17.780	17.800	7.50
	2	17.03		17.580		
	3	17.32		17.940		
	4	17.26		17.870		
	5	17.21		17.850		
5	1	18.85	19.16	17.590	17.770	7.10
	2	19.73		18.000		
	3	18.80		17.630		
	4	19.27		17.860		

	5	19.13		17.790		
6	1	24.43	24.32	18.000	17.870	6.40
	2	24.18		17.690		
	3	24.33		17.900		
	4	24.27		17.830		
	5	24.38		17.940		
7	1	31.83	31.39	18.200	17.910	5.70
	2	31.22		17.860		
	3	31.15		17.700		
	4	31.43		17.950		
	5	31.31		17.850		
8	1	41.66	41.93	17.330	17.730	5.00
	2	42.12		17.970		
	3	41.87		17.670		
	4	41.93		17.790		
	5	42.05		17.870		
9	1	70.15	69.91	18.030	17.900	4.10
	2	69.86		17.880		
	3	69.93		17.930		
	4	69.74		17.770		
	5	69.89		17.900		
10	1	175.25	175.12	17.960	17.890	2.80
	2	175.16		17.900		
	3	175.04		17.840		
	4	174.93		17.820		
	5	175.21		17.930		

Fuente: Elaboración propia, 2014

4.2.9. Datos de vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 14: Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	45	$^\circ$
Pendiente $i =$	4	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 11: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

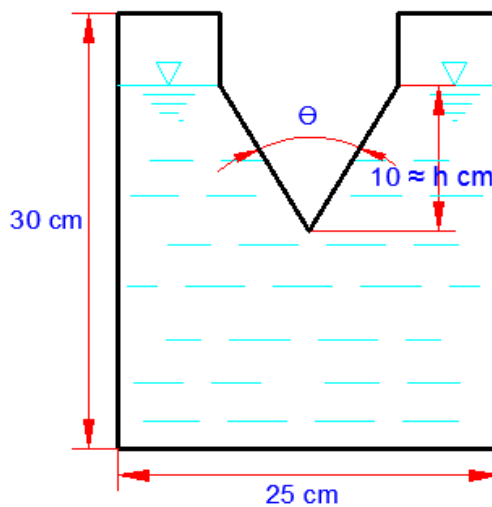
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	9.71	9.89	17.470	17.700	9.40
	2	9.82		17.630		
	3	9.97		17.740		
	4	9.93		17.770		
	5	10.01		17.880		
2	1	10.60	10.77	17.560	17.720	9.00
	2	10.78		17.630		
	3	10.89		17.880		
	4	10.83		17.810		
	5	10.75		17.740		
3	1	12.21	12.33	17.700	17.830	8.50
	2	12.32		17.840		
	3	12.36		17.880		
	4	12.48		17.950		
	5	12.29		17.800		
4	1	14.36	14.26	18.000	17.890	8.00
	2	14.17		17.800		
	3	14.31		17.930		
	4	14.28		17.870		
	5	14.20		17.830		
5	1	18.48	18.59	17.600	17.730	7.10
	2	18.63		17.770		
	3	18.70		17.850		
	4	18.56		17.690		
	5	18.59		17.740		
6	1	22.89	22.99	17.700	17.810	6.50
	2	23.12		17.930		
	3	22.93		17.740		
	4	22.97		17.820		
	5	23.06		17.880		
7	1	28.68	28.77	17.680	17.820	5.90
	2	28.83		17.880		
	3	28.89		17.900		
	4	28.75		17.830		
	5	28.71		17.800		
8	1	48.78	48.89	17.770	17.860	4.80
	2	48.95		17.900		
	3	49.04		18.000		
	4	48.83		17.800		
	5	48.87		17.850		
9	1	86.82	86.74	17.960	17.880	3.80
	2	86.67		17.790		
	3	86.73		17.870		

	4	86.78		17.900		
	5	86.69		17.860		
10	1	176.68	176.65	17.940	17.910	2.80
	2	176.61		17.900		
	3	176.65		17.880		
	4	176.57		17.820		
	5	176.72		18.000		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.10. Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 15: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	60	°
Pendiente $i =$	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 12: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

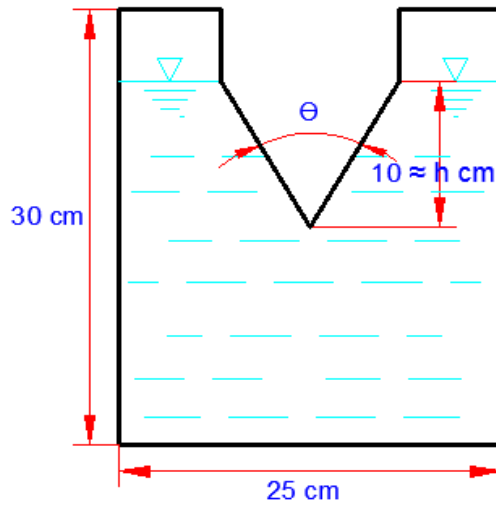
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg.)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	6.03	6.44	16.870	17.390	9.70
	2	6.33		17.400		
	3	6.43		17.300		
	4	6.64		17.600		
	5	6.75		17.800		
2	1	7.32	7.32	17.850	17.830	9.30
	2	7.28		17.810		
	3	7.27		17.770		
	4	7.39		17.900		
	5	7.35		17.830		
3	1	7.75	7.82	17.600	17.740	9.00
	2	7.99		17.950		
	3	7.68		17.500		
	4	7.83		17.800		

	5	7.87		17.850		
4	1	8.98	8.87	17.870	17.800	8.50
	2	8.93		17.900		
	3	8.76		17.600		
	4	8.83		17.800		
	5	8.87		17.850		
5	1	10.29	10.34	17.770	17.960	8.00
	2	10.45		18.270		
	3	10.33		17.900		
	4	10.37		18.000		
	5	10.25		17.850		
6	1	11.84	11.95	17.530	17.830	7.40
	2	12.12		18.180		
	3	11.87		17.740		
	4	11.97		17.900		
	5	11.93		17.820		
7	1	14.56	14.71	17.600	17.760	6.80
	2	14.62		17.640		
	3	14.78		17.800		
	4	14.83		17.900		
	5	14.74		17.850		
8	1	21.76	21.71	18.170	18.040	5.80
	2	21.79		18.230		
	3	21.71		18.000		
	4	21.63		17.850		
	5	21.68		17.970		
9	1	27.50	27.47	18.050	17.940	5.20
	2	27.59		18.000		
	3	27.41		17.870		
	4	27.38		17.850		
	5	27.46		17.920		
10	1	121.37	121.38	17.870	17.910	2.80
	2	121.31		17.890		
	3	121.45		18.000		
	4	121.43		17.940		
	5	121.35		17.850		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.11. Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 16: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	60	$^\circ$
Pendiente $i =$	2	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 13: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

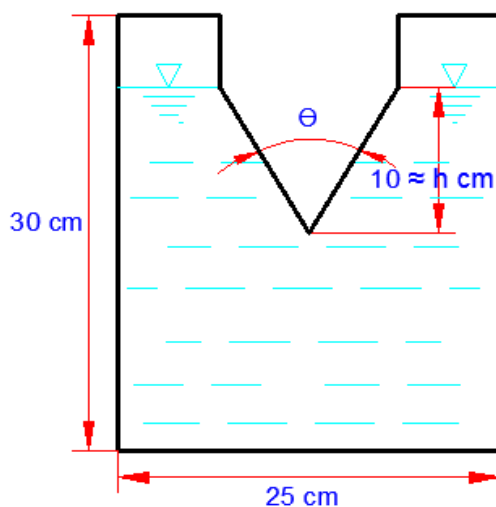
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	6.54	6.72	17.000	17.800	9.40
	2	6.80		18.230		
	3	6.88		18.230		
	4	6.67		17.700		
	5	6.73		17.850		
2	1	7.34	7.50	17.690	17.820	9.00
	2	7.51		17.800		
	3	7.63		17.960		
	4	7.45		17.750		
	5	7.57		17.900		
3	1	8.06	8.50	17.270	17.770	8.50
	2	8.67		18.000		
	3	8.55		17.800		
	4	8.63		17.900		
	5	8.59		17.860		
4	1	10.31	10.42	17.580	17.760	7.80
	2	10.47		17.840		
	3	10.38		17.730		
	4	10.41		17.800		
	5	10.51		17.850		
5	1	12.12	11.82	18.000	17.820	7.40
	2	11.54		17.600		
	3	11.92		17.900		
	4	11.83		17.850		

	5	11.69		17.730		
6	1	15.76	15.79	17.860	17.830	6.60
	2	15.59		17.580		
	3	15.91		17.950		
	4	15.83		17.850		
	5	15.87		17.900		
7	1	21.41	20.75	18.210	17.940	5.90
	2	20.69		18.000		
	3	20.45		17.750		
	4	20.57		17.850		
	5	20.63		17.900		
8	1	33.53	33.55	18.000	17.960	4.80
	2	33.91		18.200		
	3	33.47		17.930		
	4	33.39		17.800		
	5	33.43		17.850		
9	1	58.18	58.00	18.250	18.020	3.80
	2	57.87		17.800		
	3	57.97		18.050		
	4	58.03		18.100		
	5	57.93		17.900		
10	1	148.65	148.82	17.700	17.830	2.60
	2	148.84		17.800		
	3	148.79		17.770		
	4	148.93		18.000		
	5	148.87		17.900		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.12. Datos de vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 17: Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	60	$^\circ$
Pendiente $i =$	4	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 14: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

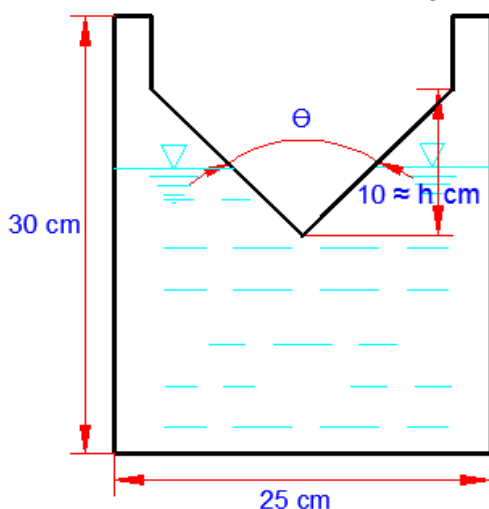
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	6.31	6.37	17.640	17.730	9.50
	2	6.33		17.650		
	3	6.41		17.800		
	4	6.37		17.700		
	5	6.45		17.850		
2	1	7.26	7.51	17.000	17.570	8.80
	2	7.35		17.350		
	3	7.54		17.750		
	4	7.67		17.850		
	5	7.71		17.900		
3	1	8.60	9.12	17.150	17.610	8.10
	2	9.05		17.430		
	3	9.35		17.900		
	4	9.27		17.700		
	5	9.31		17.850		
4	1	10.49	10.53	17.650	17.700	7.60
	2	10.27		17.410		
	3	10.71		17.950		
	4	10.63		17.800		
	5	10.54		17.680		
5	1	12.18	12.44	17.680	17.870	7.10
	2	12.63		18.000		
	3	12.47		17.870		
	4	12.56		17.960		
	5	12.37		17.840		
6	1	15.97	15.71	18.000	17.680	6.40
	2	15.39		17.260		
	3	15.61		17.600		
	4	15.73		17.700		
	5	15.87		17.850		
7	1	19.04	18.96	17.850	17.820	5.90
	2	19.21		18.000		
	3	18.77		17.600		
	4	18.93		17.870		
	5	18.86		17.800		
8	1	32.00	32.20	17.600	17.780	4.70
	2	32.36		17.960		
	3	32.12		17.670		
	4	32.24		17.800		
	5	32.29		17.870		
9	1	53.80	53.92	17.750	17.880	3.80
	2	54.06		18.000		
	3	53.93		17.900		

	4	53.84		17.800		
	5	53.98		17.960		
10	1	142.23	142.31	17.770	17.870	2.70
	2	142.31		17.850		
	3	142.45		18.000		
	4	142.17		17.750		
	5	142.39		17.960		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.13. Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 18: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	90	°
Pendiente $i =$	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2014

Tabla 15: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

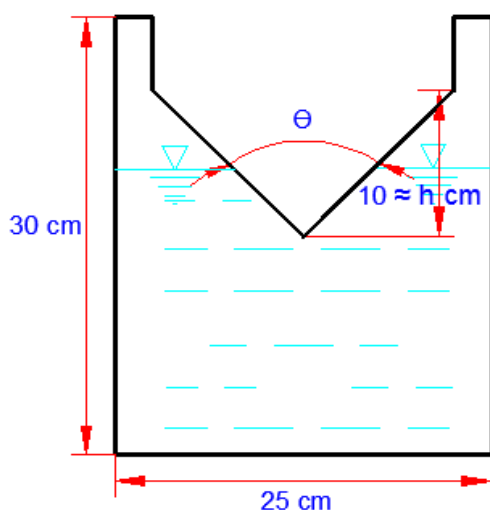
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	3.73	3.70	16.340	16.850	9.70
	2	3.82		17.140		
	3	3.64		16.440		
	4	3.78		17.490		
	5	3.55		16.850		
2	1	4.45	4.54	16.760	16.670	8.90
	2	4.49		16.960		
	3	4.85		17.180		
	4	4.40		15.990		
	5	4.50		16.480		
3	1	5.89	6.77	17.160	17.560	7.60
	2	6.28		17.380		
	3	7.80		18.000		
	4	7.47		17.560		
	5	6.39		17.700		

4	1	8.37	8.11	17.960	17.430	7.00
	2	7.83		17.290		
	3	8.00		17.570		
	4	8.10		17.000		
	5	8.25		17.350		
5	1	10.82	10.59	17.920	17.570	6.30
	2	10.50		17.400		
	3	10.42		17.350		
	4	10.59		17.520		
	5	10.62		17.650		
6	1	15.42	15.64	17.250	17.390	5.20
	2	15.78		17.340		
	3	15.58		17.590		
	4	15.96		17.290		
	5	15.48		17.460		
7	1	20.78	20.27	17.080	16.810	4.60
	2	19.74		16.160		
	3	20.33		17.080		
	4	20.47		17.050		
	5	20.04		16.680		
8	1	29.85	29.11	17.600	17.250	3.90
	2	28.82		17.140		
	3	28.53		16.990		
	4	28.94		17.190		
	5	29.43		17.350		
9	1	54.78	54.93	17.610	17.700	2.90
	2	55.13		17.860		
	3	54.87		17.640		
	4	54.71		17.560		
	5	55.18		17.810		
10	1	164.30	164.31	17.980	17.940	1.90
	2	165.03		17.990		
	3	164.23		17.940		
	4	164.11		17.910		
	5	163.87		17.870		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.14. Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 19: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	90	°
Pendiente $i =$	2	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 16: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

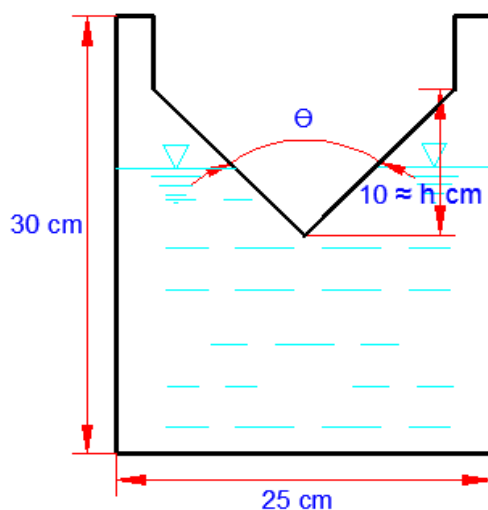
Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	3.75	4.06	17.350	17.600	9.20
	2	4.18		17.750		
	3	4.03		17.440		
	4	4.24		17.830		
	5	4.12		17.650		
2	1	3.90	4.27	17.140	17.600	9.00
	2	4.08		17.520		
	3	4.33		17.630		
	4	4.57		17.900		
	5	4.45		17.800		
3	1	4.57	4.81	16.770	17.610	8.50
	2	5.05		18.140		
	3	4.83		17.850		
	4	4.68		17.400		
	5	4.91		17.900		
4	1	5.37	5.38	17.690	17.760	8.10
	2	5.30		17.720		
	3	5.48		17.860		
	4	5.34		17.730		
	5	5.41		17.820		
5	1	5.69	6.26	16.920	17.990	7.70
	2	6.65		19.350		
	3	6.34		17.900		
	4	6.41		18.000		

	5	6.23		17.800		
6	1	7.73	7.75	17.780	17.970	7.00
	2	7.84		18.350		
	3	7.65		17.750		
	4	7.82		18.150		
	5	7.71		17.800		
7	1	9.33	9.40	17.940	17.950	6.50
	2	9.75		18.150		
	3	9.21		17.800		
	4	9.43		18.030		
	5	9.28		17.850		
8	1	13.76	14.12	17.640	17.890	5.50
	2	14.25		17.950		
	3	14.12		17.930		
	4	14.31		18.030		
	5	14.17		17.900		
9	1	22.41	22.70	17.830	17.980	4.50
	2	23.09		18.300		
	3	22.63		17.850		
	4	22.78		18.050		
	5	22.59		17.880		
10	1	107.71	107.78	17.790	17.880	2.10
	2	107.76		17.880		
	3	107.83		17.900		
	4	107.89		18.000		
	5	107.73		17.850		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.2.15. Datos de vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 20: Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$.



Datos del ensayo:		
$\Theta =$	90	°
Pendiente $i =$	4	%

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 17: Datos de ensayo, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Prueba	Tiempos (seg.)		Tiempo Prom. (seg.)	Volumen (lt/seg)	Volumen Prom. (lt/seg.)	Altura h (cm)
1	1	4.33	3.98	19.000	18.080	9.40
	2	3.93		17.720		
	3	3.82		17.820		
	4	3.86		17.890		
	5	3.97		17.960		
2	1	4.35	4.31	18.000	17.980	9.00
	2	4.40		18.230		
	3	4.23		17.800		
	4	4.31		17.970		
	5	4.28		17.900		
3	1	5.14	5.08	17.720	17.710	8.30
	2	4.79		17.500		
	3	5.21		17.900		
	4	5.07		17.650		
	5	5.18		17.770		
4	1	6.04	5.99	17.800	17.590	7.70
	2	5.70		16.750		
	3	5.94		17.600		
	4	6.17		17.950		
	5	6.11		17.850		
5	1	7.31	7.61	17.540	17.800	7.00
	2	7.64		17.820		
	3	7.71		17.900		
	4	7.58		17.750		
	5	7.80		18.000		
6	1	10.56	10.40	18.430	18.080	6.20
	2	10.46		18.170		
	3	10.31		17.970		
	4	10.26		17.880		
	5	10.39		17.930		
7	1	13.77	13.67	17.700	17.640	5.50
	2	13.38		17.230		
	3	13.84		17.850		
	4	13.75		17.760		
	5	13.63		17.670		
8	1	20.32	20.65	17.580	17.820	4.60
	2	20.81		17.870		
	3	20.63		17.830		
	4	20.88		18.100		
	5	20.59		17.700		
9	1	36.20	36.42	17.530	17.710	3.60
	2	36.44		17.670		
	3	36.58		17.900		

	4	36.35		17.630		
	5	36.51		17.830		
10	1	128.74	128.83	17.860	17.920	2.10
	2	128.93		18.000		
	3	128.87		17.960		
	4	128.79		17.900		
	5	128.81		17.890		

Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3. Beneficios esperados del proyecto

Con la realización de esta investigación se espera establecer con claridad cuáles son los coeficientes de gasto para vertederos triangulares de pared delgada debido a su ángulo, caudal y pendiente y poder ser utilizados en diseño de vertederos en canales, represas u otras obras similares, permitiendo obtener los siguientes beneficios:

- Mayor y mejor conocimiento sobre los coeficientes de gasto de vertederos triangulares de pared delgada y cómo pueden influir en las construcciones de vertederos en canales.
- Mayor conocimiento de los coeficientes de gasto en vertederos en base a las siguientes características: ángulo, caudal y pendiente.
- Proporcionar una propuesta para conocer los caudales reales en los vertederos, conociendo las alturas de flujo que pasan por los vertederos para diferentes ángulos y pendientes del canal de pendiente variable y esto pueda ser utilizado por estudiantes de la UPNC, cuando realicen dichos ensayos en laboratorio y puedan usar las tablas o gráficas.
- De acuerdo a la curva obtenemos la fórmula potencial, donde: α y β son valores de la ecuación obtenida, ésta se utilizará para calcular caudales reales de acuerdo a varias alturas de flujo en los vertederos, lo cual pueda servir para futuras investigaciones similares.

$$Q_r = \alpha h^\beta$$

Dónde:

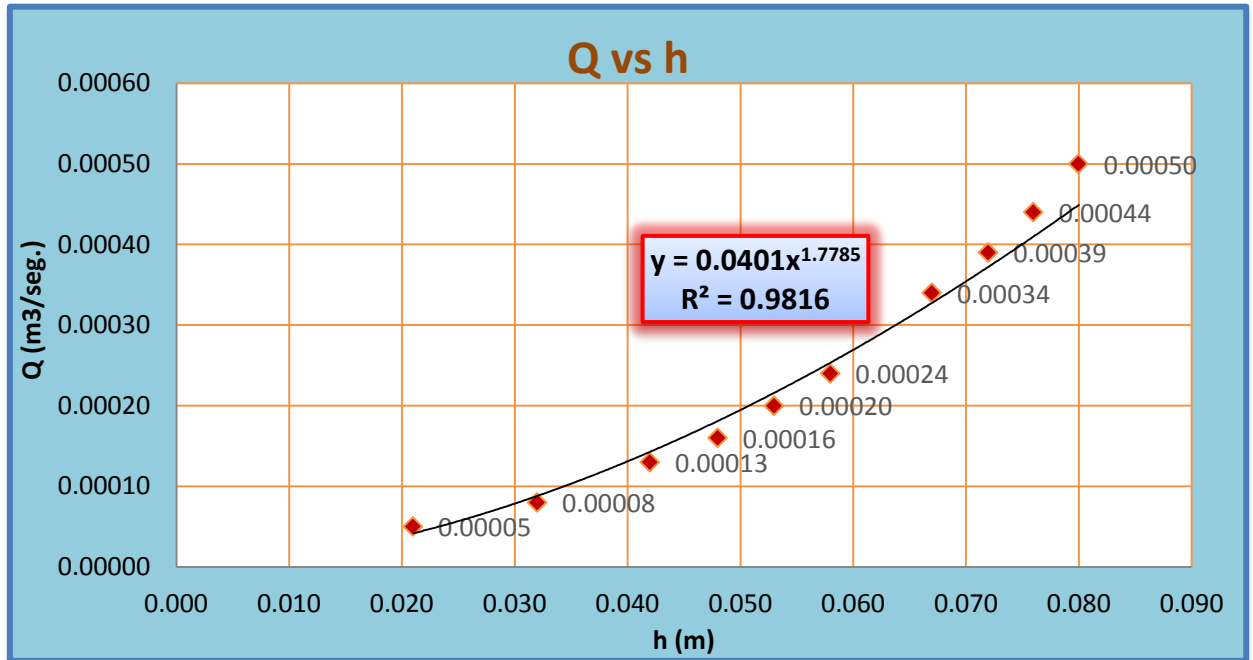
Q_r = Caudal real

α, β = Constantes de ajuste.

h = Altura

4.3.1. Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 21: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

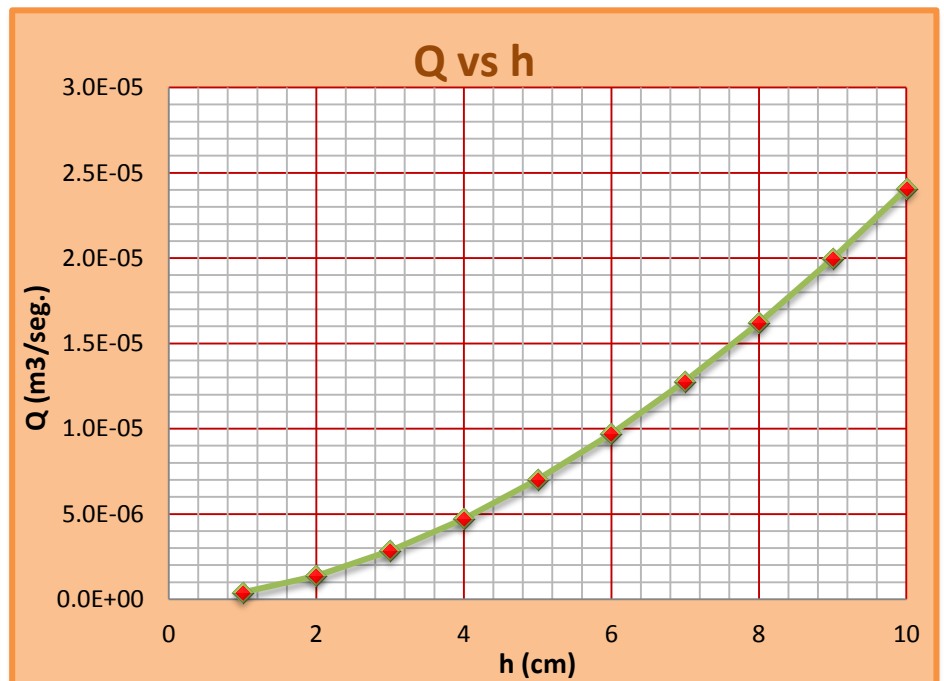
Datos:

$\alpha =$	0.0401
$\beta =$	1.7785

$Q_r = \alpha h^\beta$

Gráfico 22: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$.

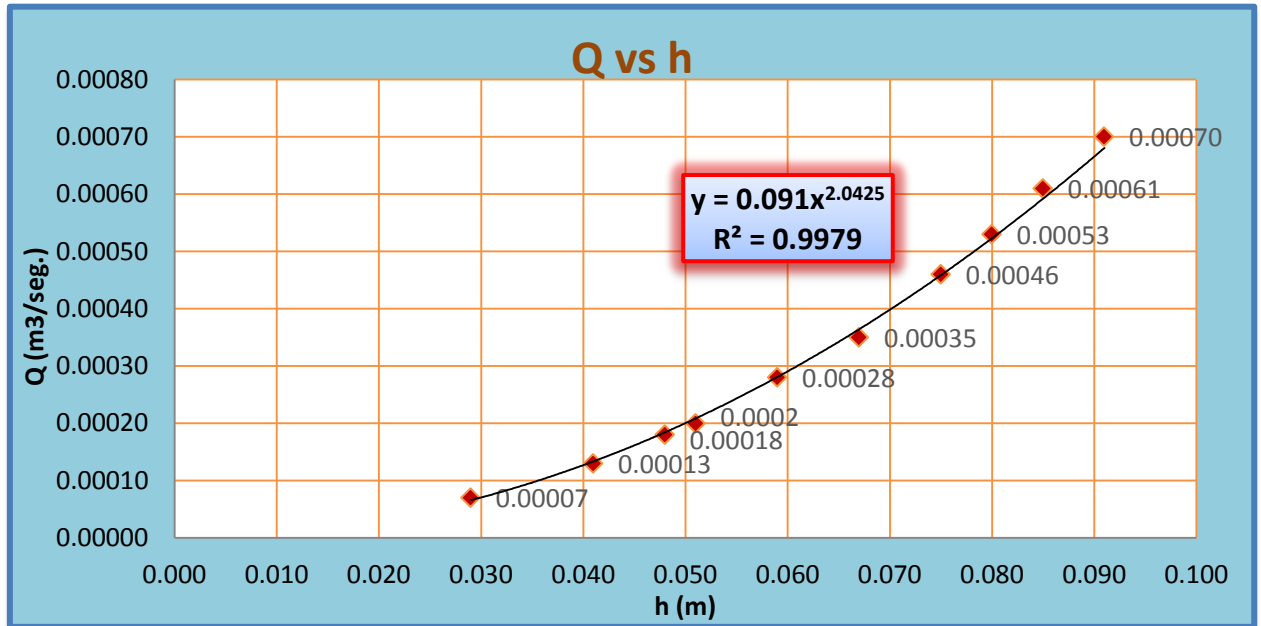
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000040
2	0.00000138
3	0.00000283
4	0.00000472
5	0.00000702
6	0.00000971
7	0.00001277
8	0.00001619
9	0.00001996
10	0.00002408



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.2. Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 23: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

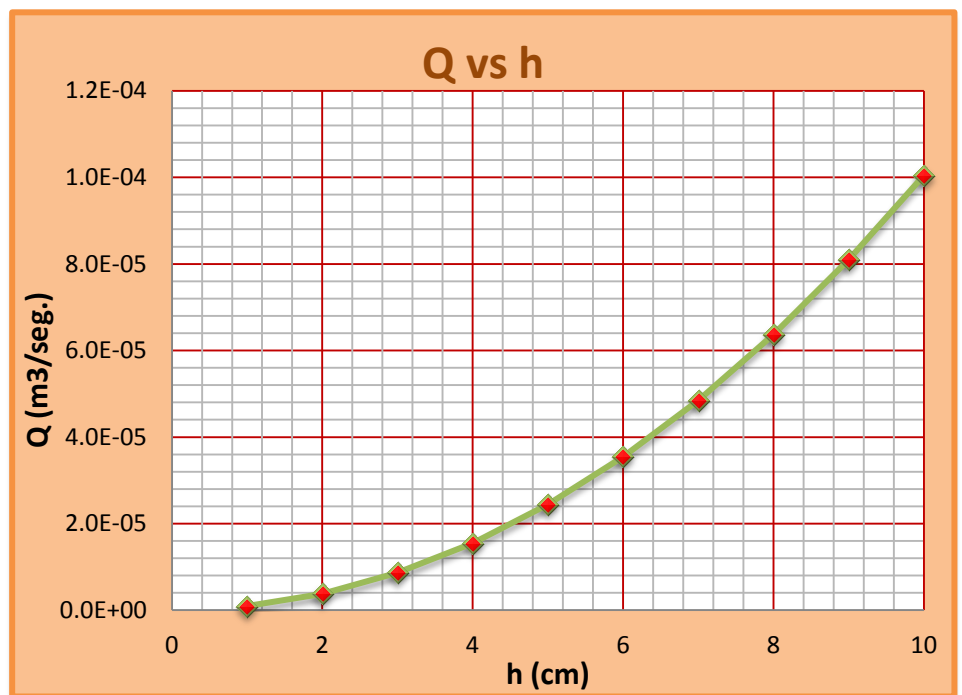
Datos:

$\alpha =$	0.091
$\beta =$	2.0425

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 24: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$.

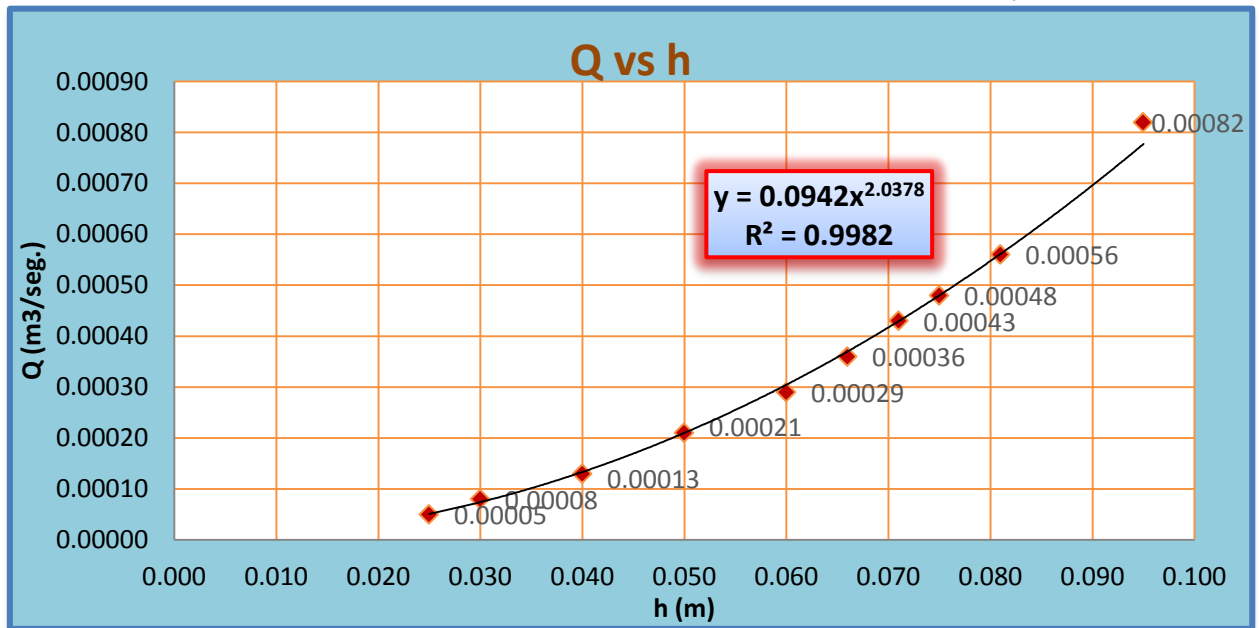
h (cm)	Qr (m³/seg)
1	0.00000091
2	0.00000375
3	0.00000858
4	0.00001544
5	0.00002436
6	0.00003535
7	0.00004843
8	0.00006362
9	0.00008092
10	0.00010036



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.3. Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 25: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

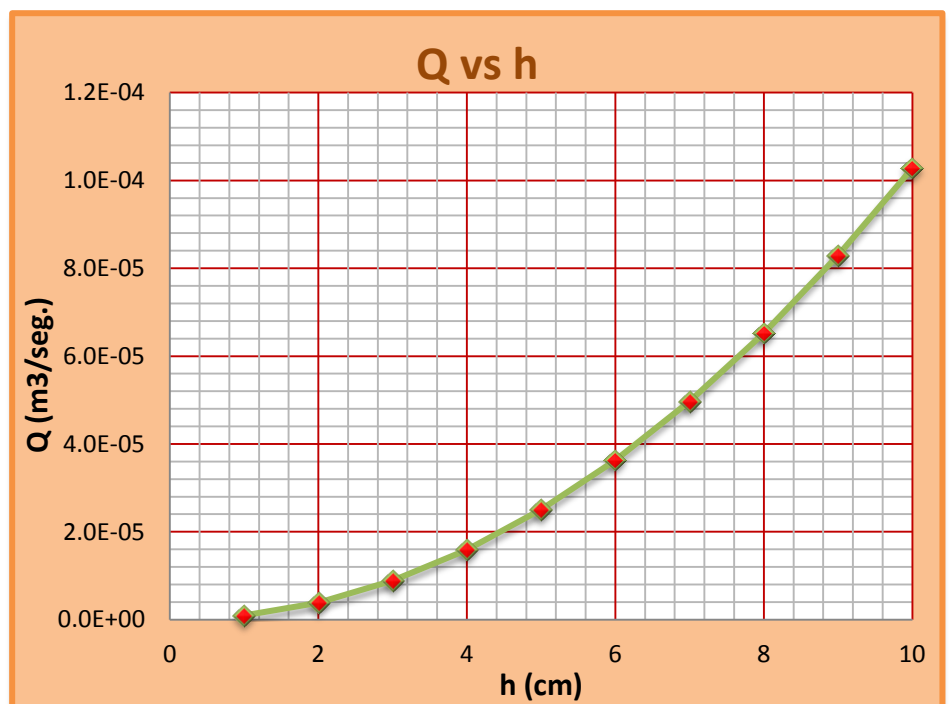
Datos:

$\alpha =$	0.0942
$\beta =$	2.0378

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 26: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$.

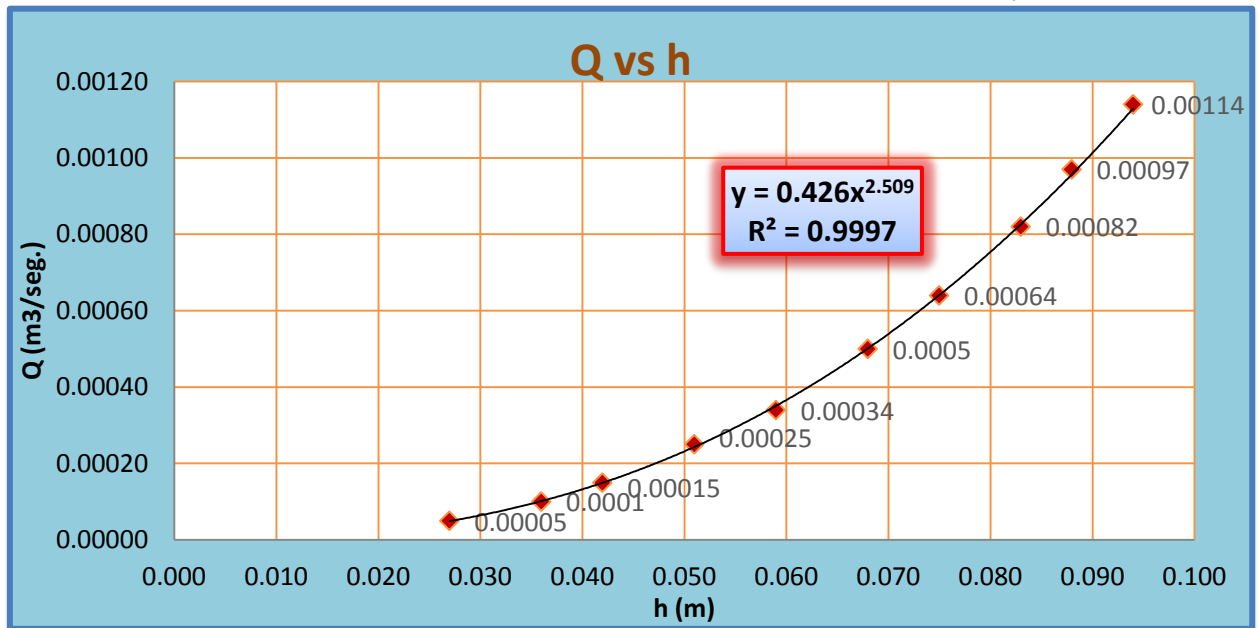
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000094
2	0.00000387
3	0.00000884
4	0.00001588
5	0.00002503
6	0.00003629
7	0.00004968
8	0.00006522
9	0.00008291
10	0.00010277



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.4. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 27: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

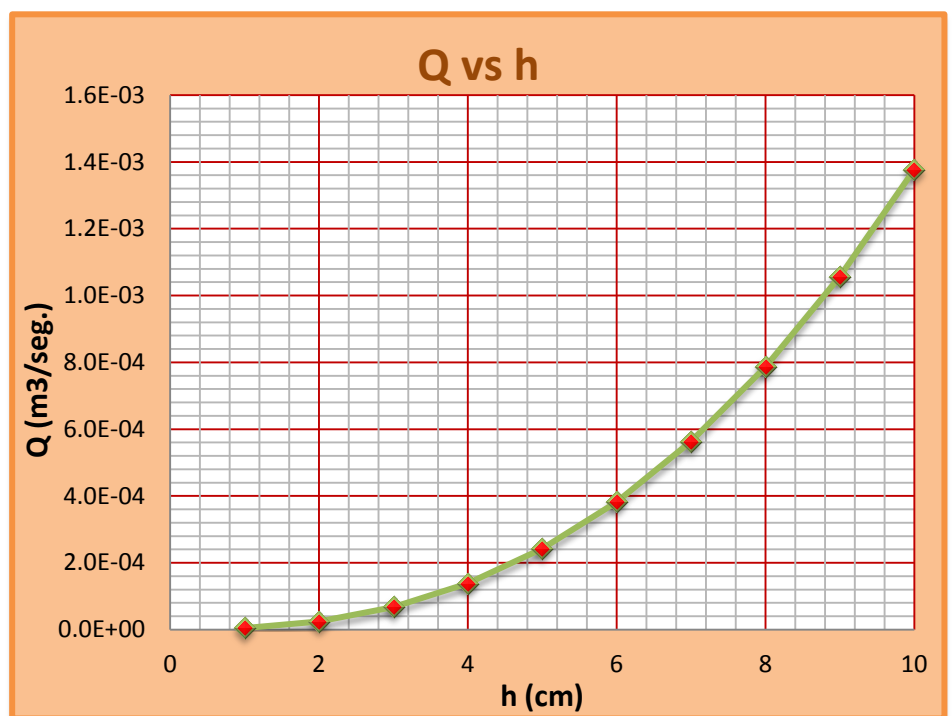
Datos:

$\alpha =$	0.426
$\beta =$	2.509

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 28: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$.

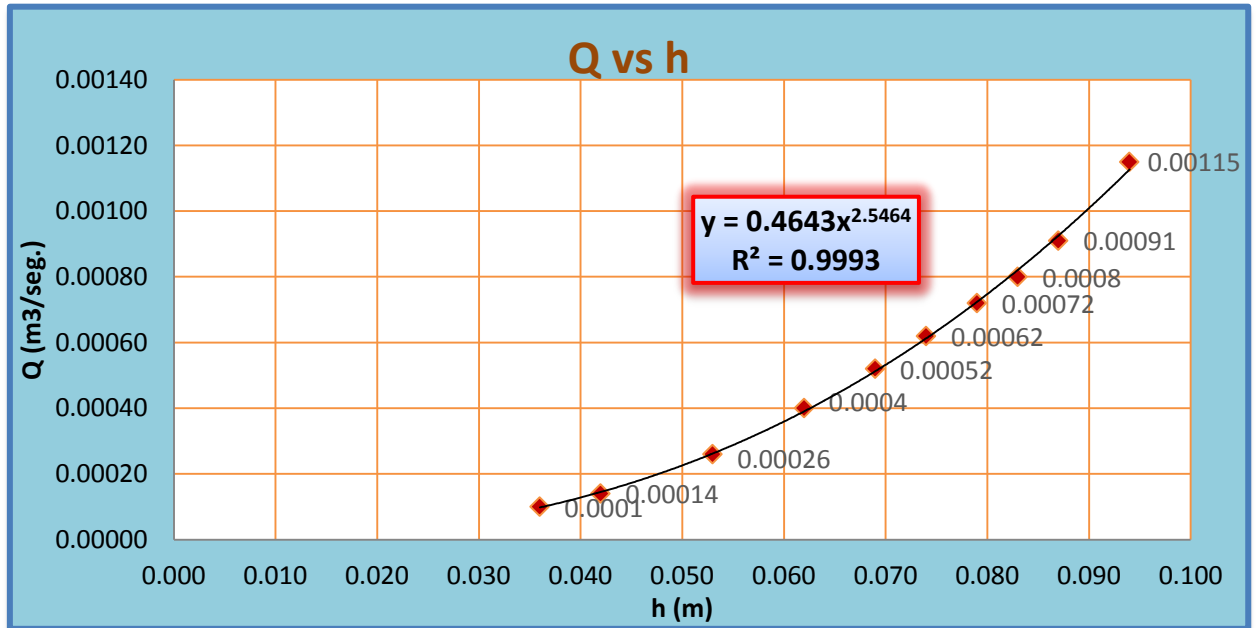
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000426
2	0.00002425
3	0.00006707
4	0.00013803
5	0.00024162
6	0.00038176
7	0.00056203
8	0.00078571
9	0.00105585
10	0.00137534



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.5. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 29: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

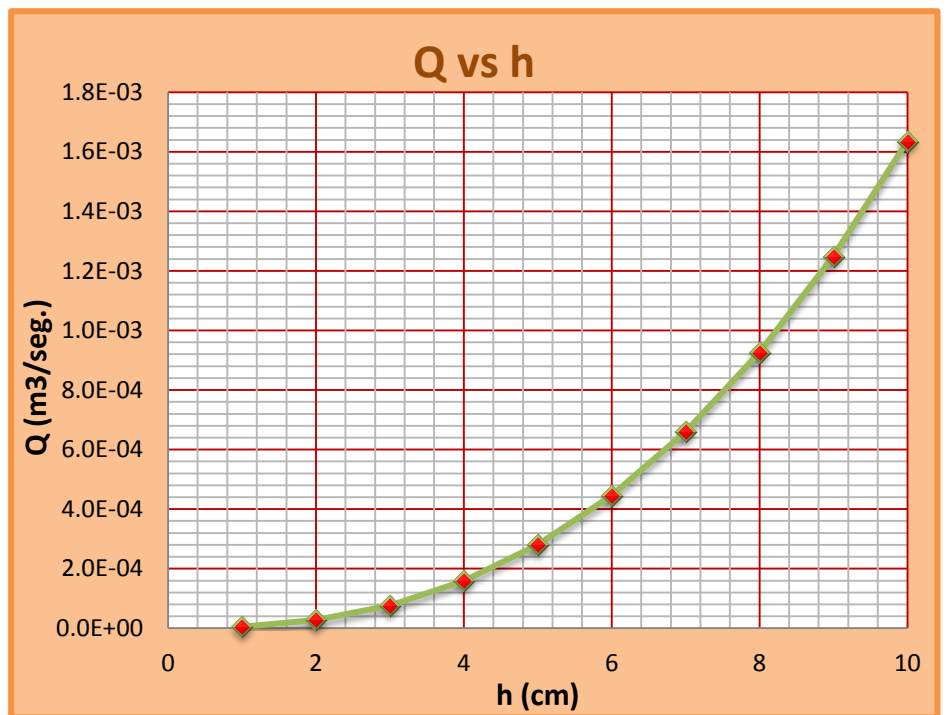
Datos:

$\alpha =$	0.4643
$\beta =$	2.5464

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 30: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$.

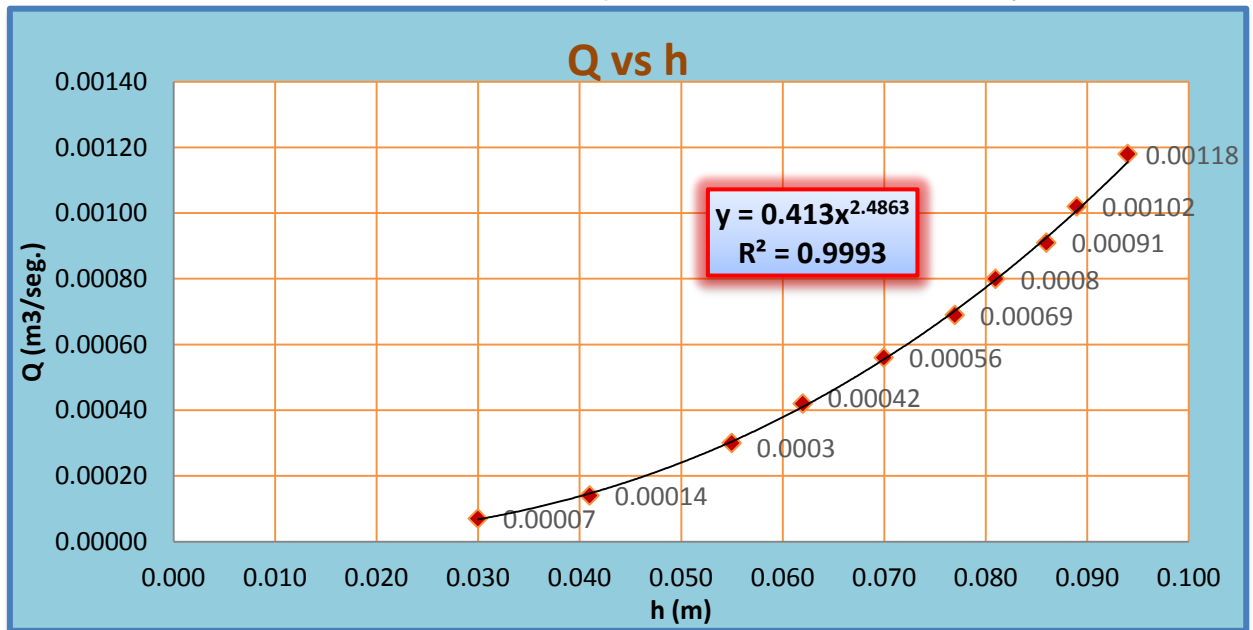
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000464
2	0.00002712
3	0.00007616
4	0.00015845
5	0.00027968
6	0.00044492
7	0.00065880
8	0.00092561
9	0.00124934
10	0.00163380



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.6. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 31: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

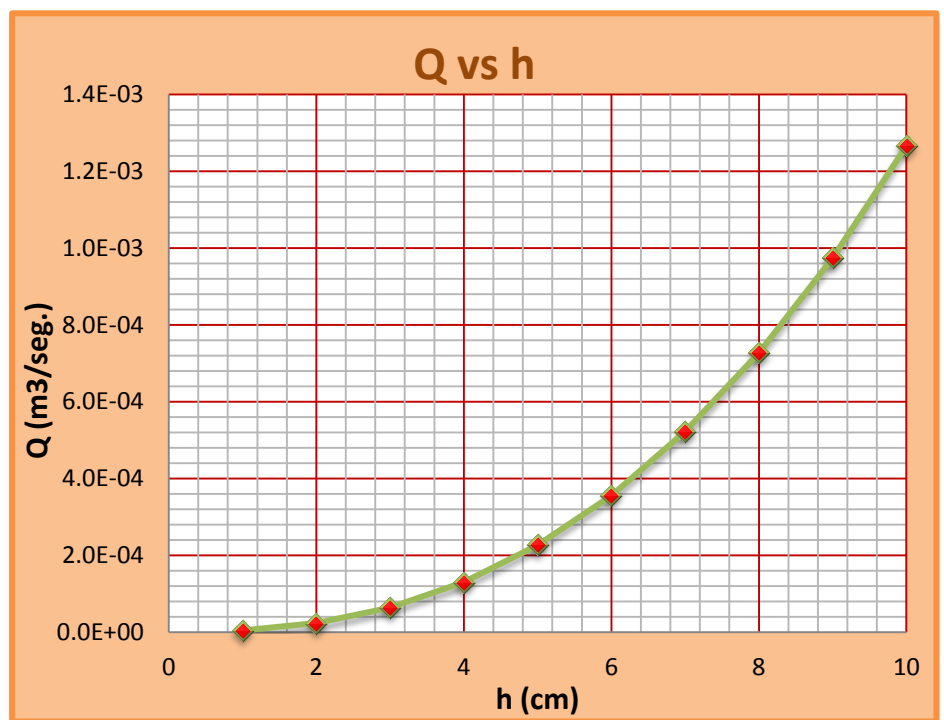
Datos:

$\alpha =$	0.413
$\beta =$	2.4863

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 32: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$.

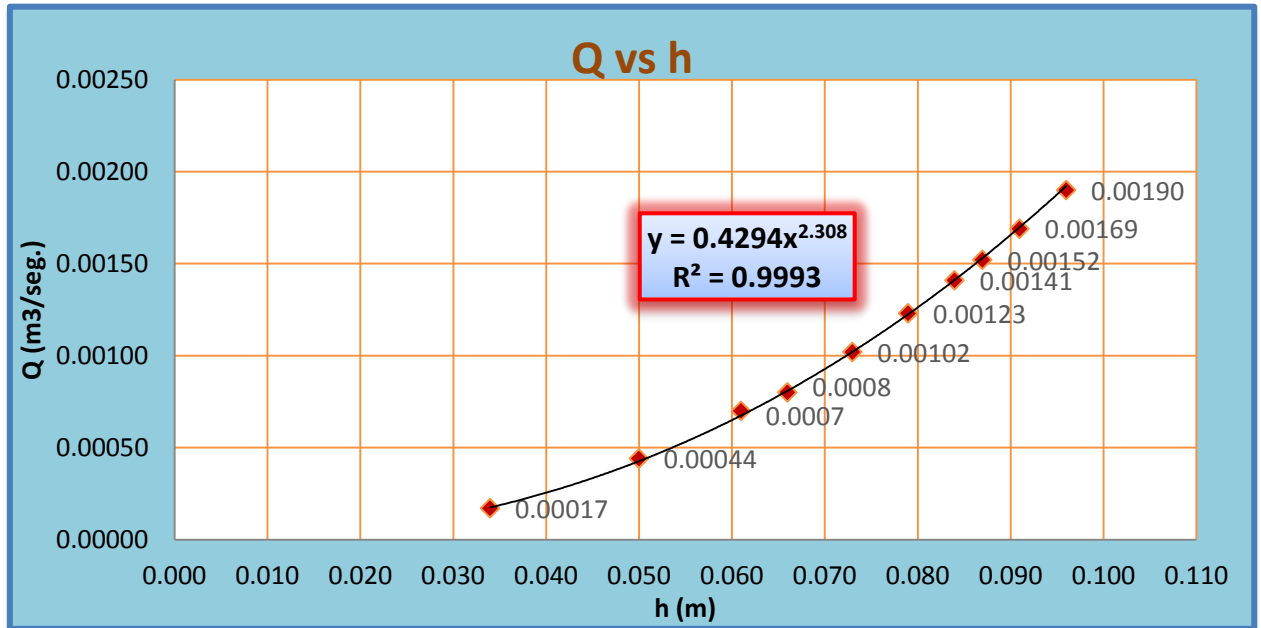
h (cm)	Qr (m³/seg)
1	0.00000413
2	0.00002314
3	0.00006342
4	0.00012967
5	0.00022584
6	0.00035536
7	0.00052134
8	0.00072661
9	0.00097383
10	0.00126546



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.7. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 33: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

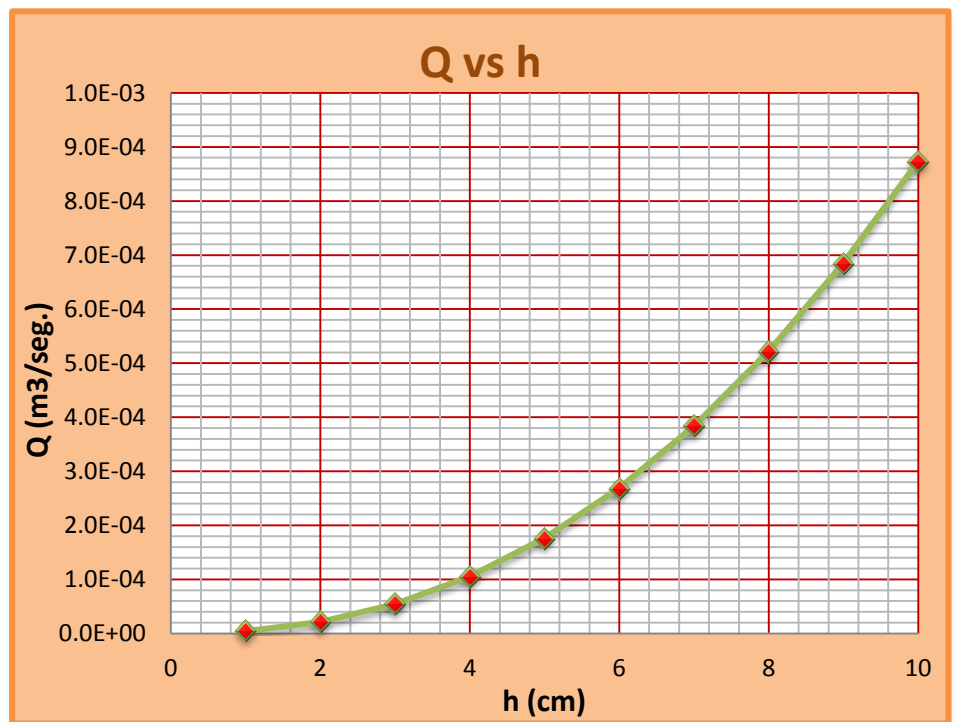
Datos:

$\alpha =$	0.4294
$\beta =$	2.308

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 34: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$.

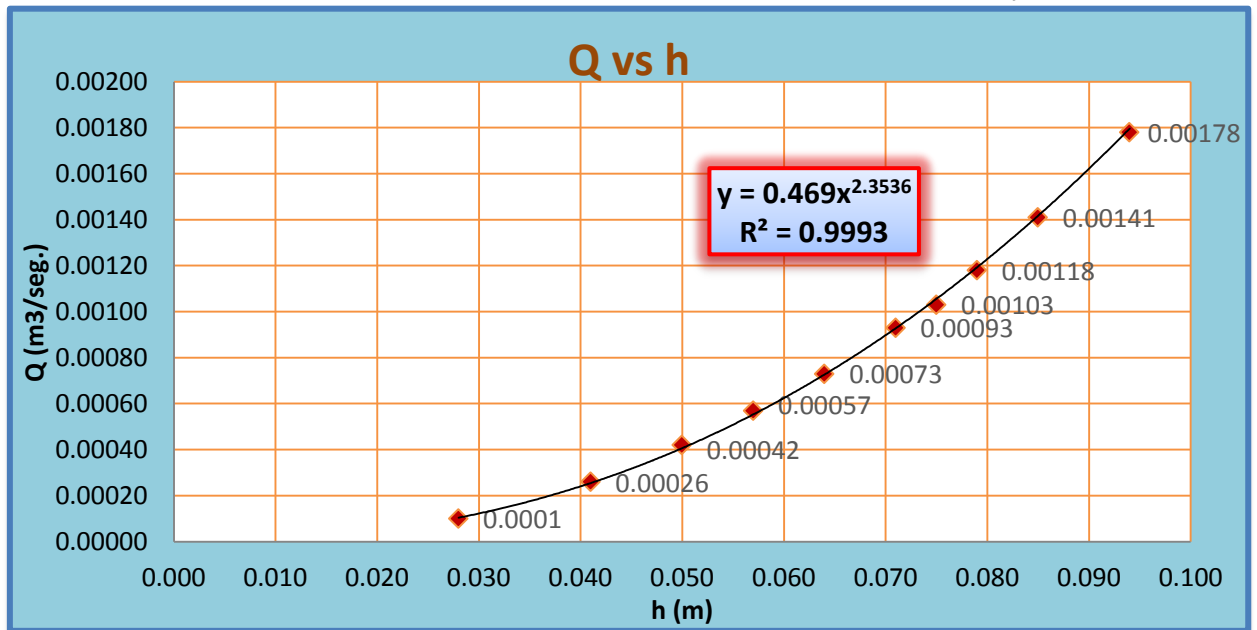
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000429
2	0.00002126
3	0.00005421
4	0.00010530
5	0.00017623
6	0.00026843
7	0.00038313
8	0.00052143
9	0.00068431
10	0.00087269



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.8. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 35: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

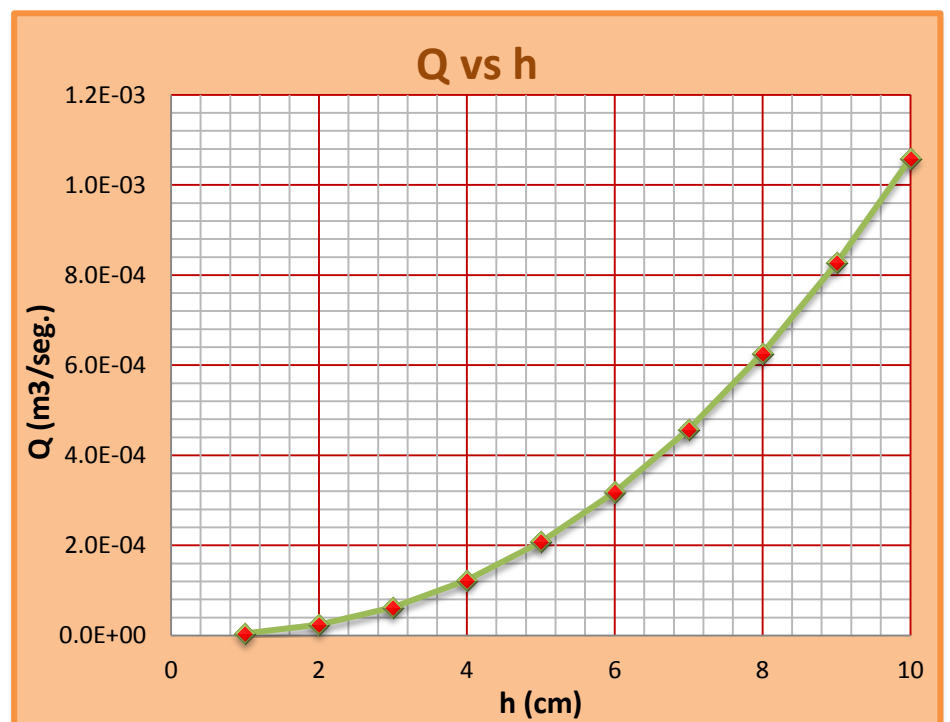
Datos:

$\alpha =$	0.469
$\beta =$	2.3536

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 36: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$.

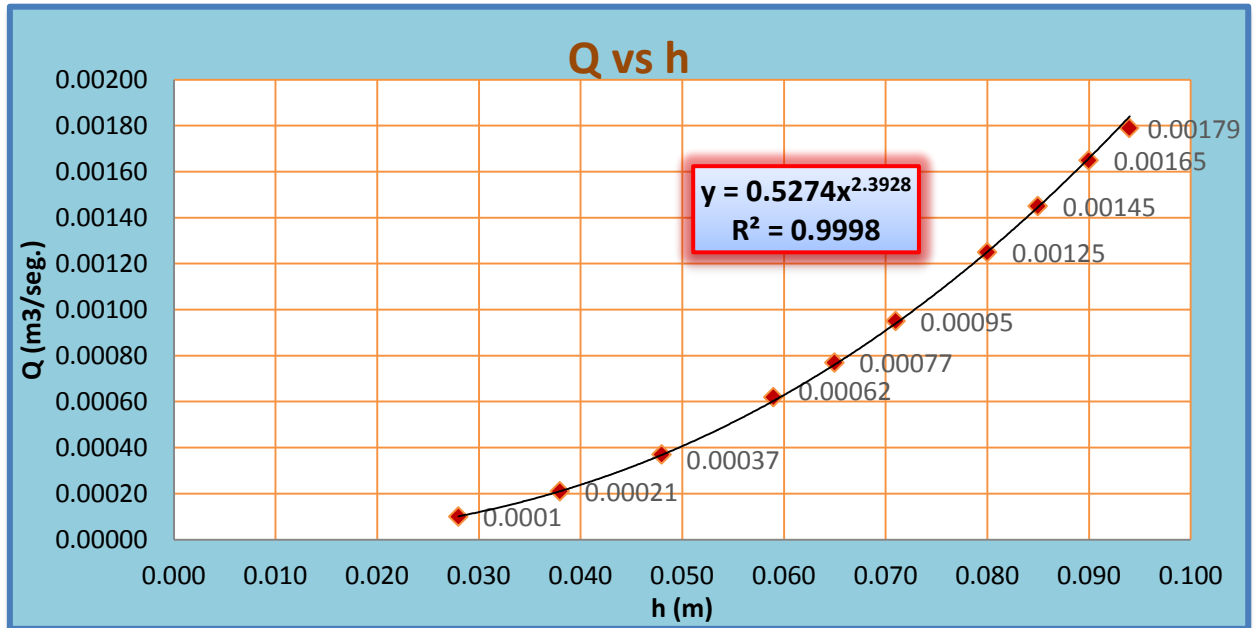
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000469
2	0.00002397
3	0.00006225
4	0.00012251
5	0.00020714
6	0.00031815
7	0.00045729
8	0.00062616
9	0.00082619
10	0.00105870



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.9. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 37: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

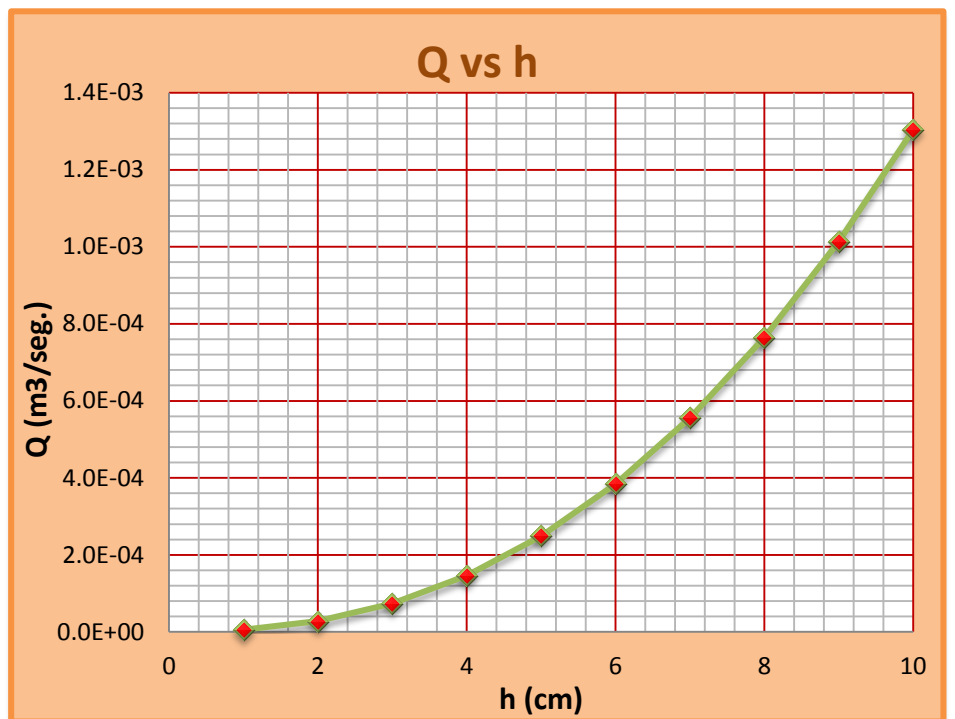
Datos:

$\alpha =$	0.5274
$\beta =$	2.3928

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 38: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$.

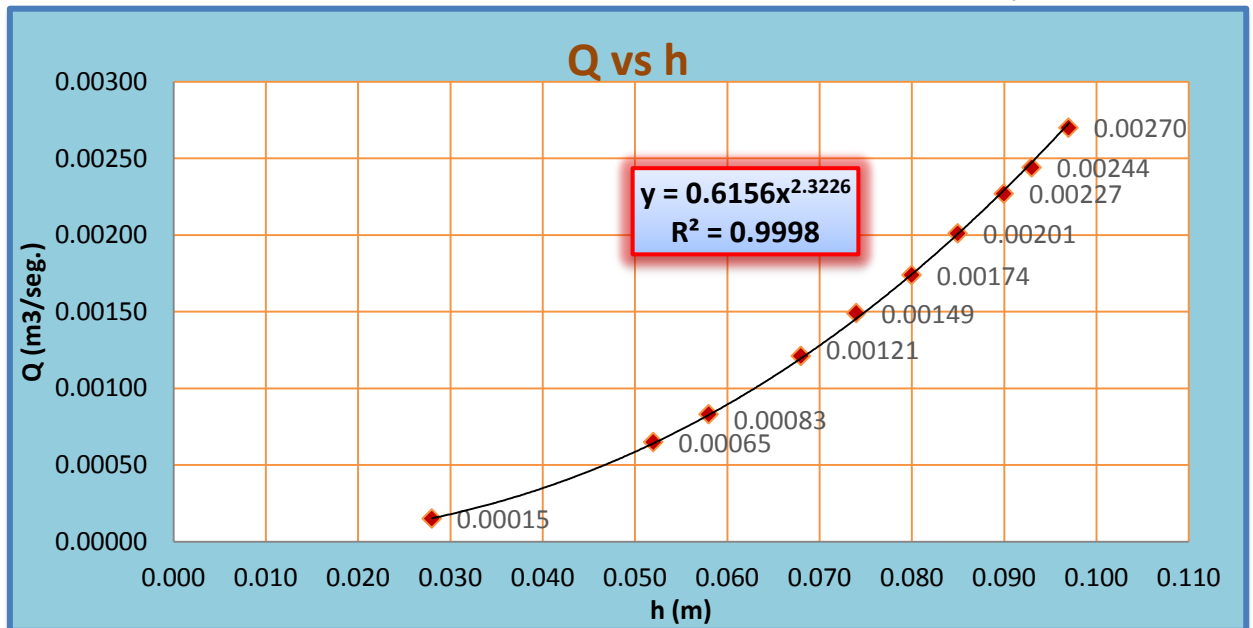
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000527
2	0.00002770
3	0.00007308
4	0.00014546
5	0.00024811
6	0.00038380
7	0.00055500
8	0.00076393
9	0.00101263
10	0.00130299



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.10. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 39: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

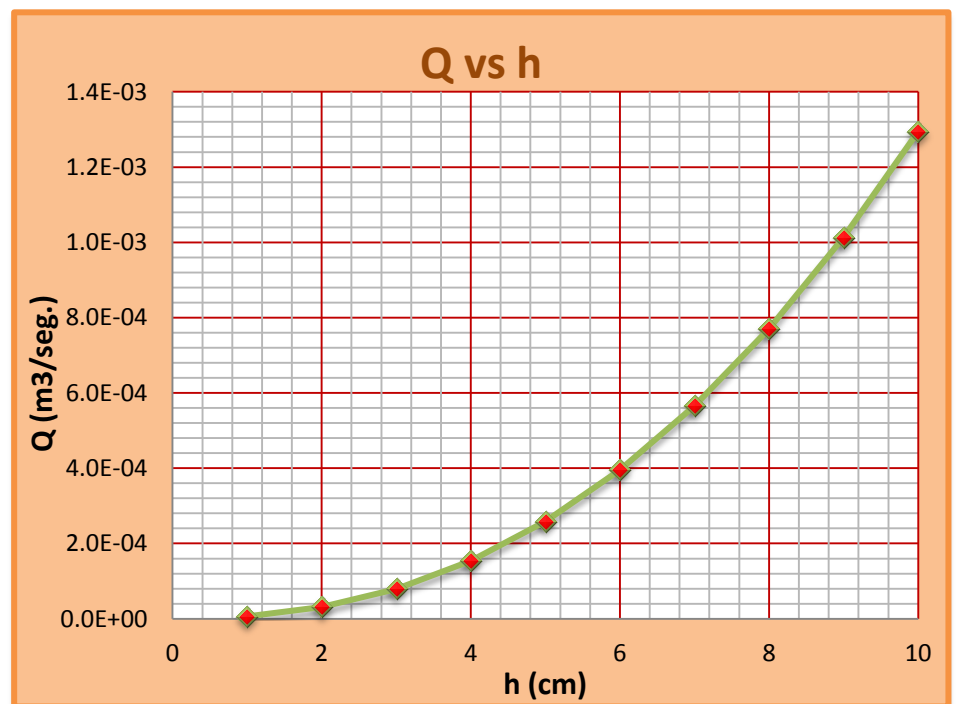
Datos:

$\alpha =$	0.6156
$\beta =$	2.3226

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 40: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$.

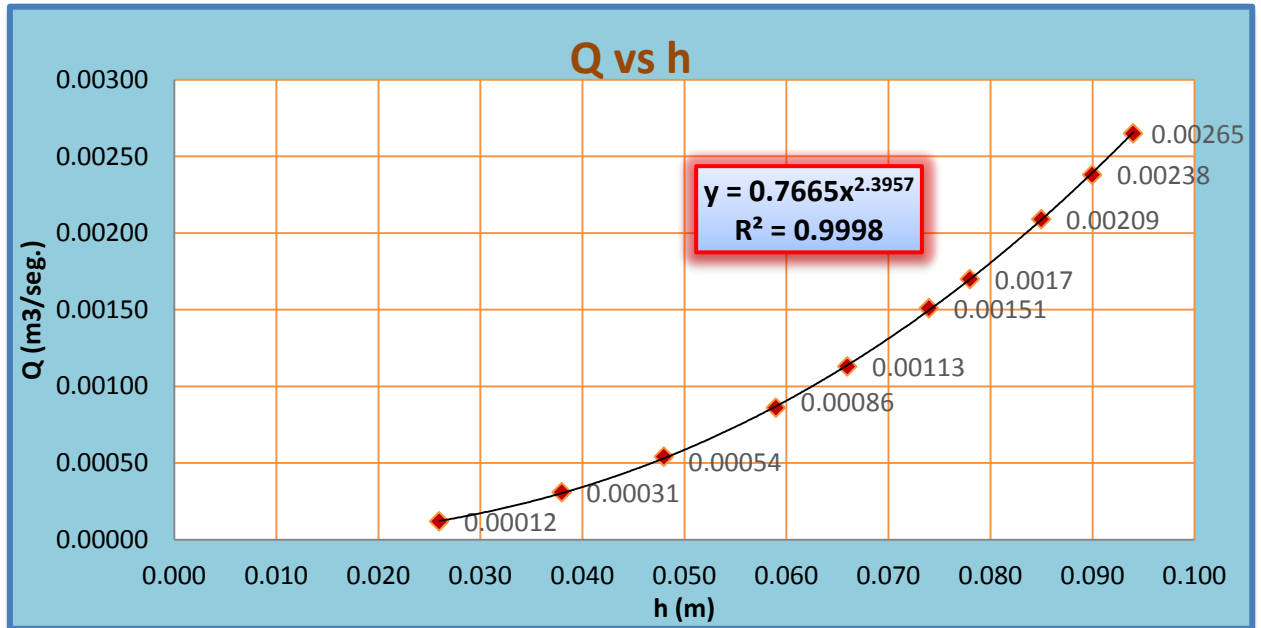
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000616
2	0.00003079
3	0.00007897
4	0.00015404
5	0.00025866
6	0.00039503
7	0.00056510
8	0.00077058
9	0.00101303
10	0.00129389



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.11. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 41: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

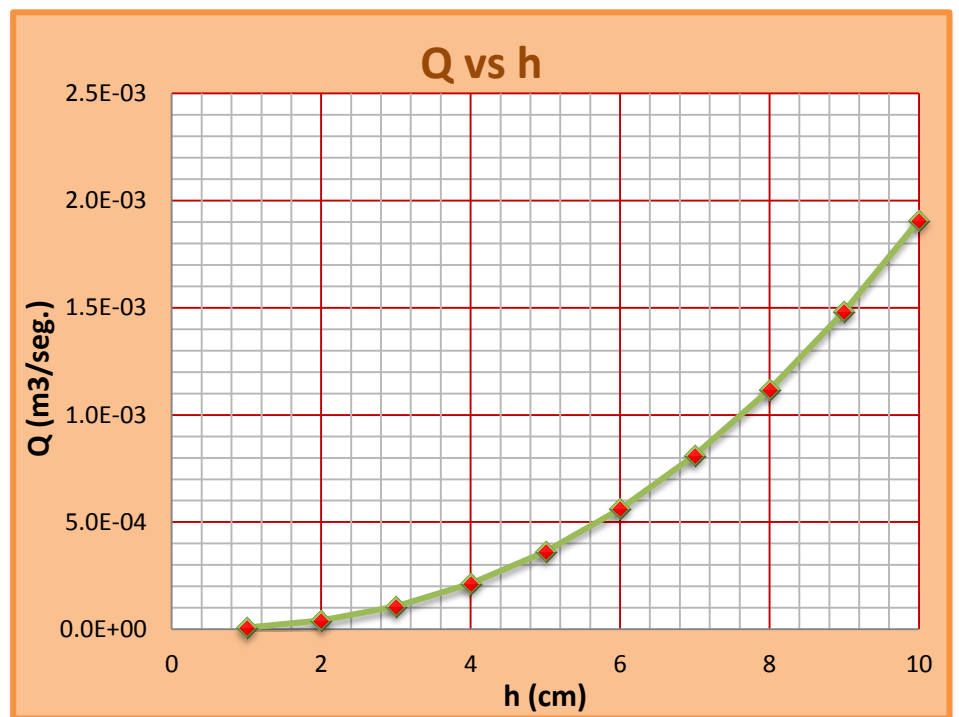
Datos:

$\alpha =$	0.7665
$\beta =$	2.3957

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 42: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$.

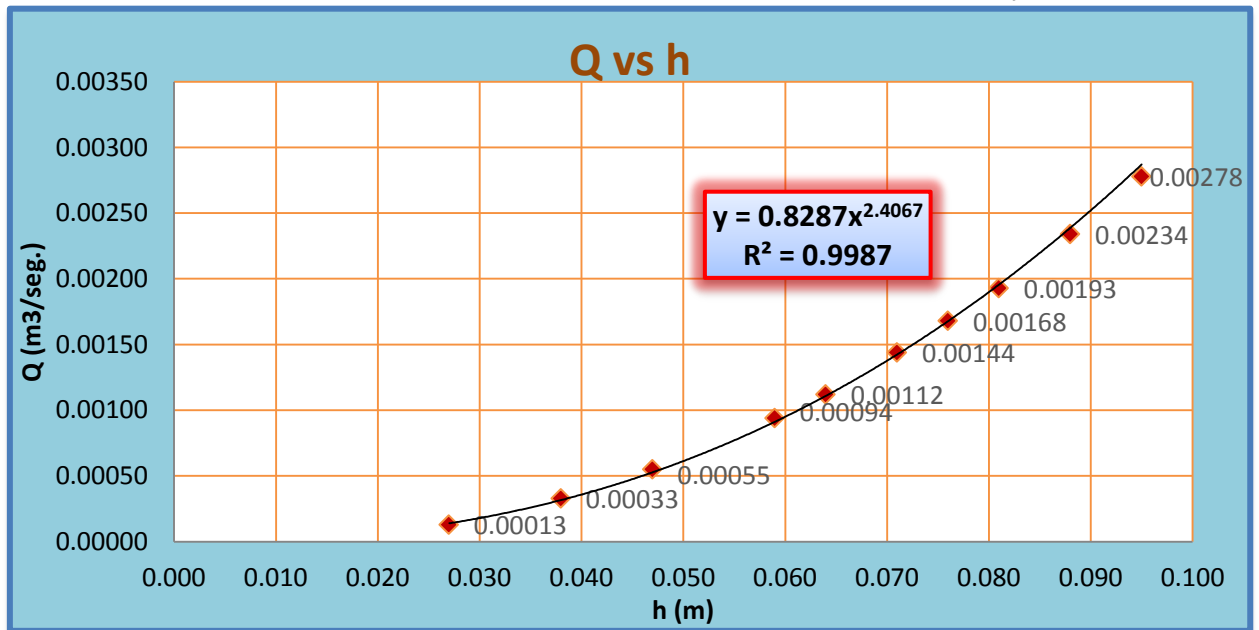
h (cm)	Qr (m³/seg)
1	0.00000767
2	0.00004034
3	0.00010655
4	0.00021226
5	0.00036227
6	0.00056070
7	0.00081117
8	0.0011698
9	0.00148112
10	0.00190639



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.12. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 43: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

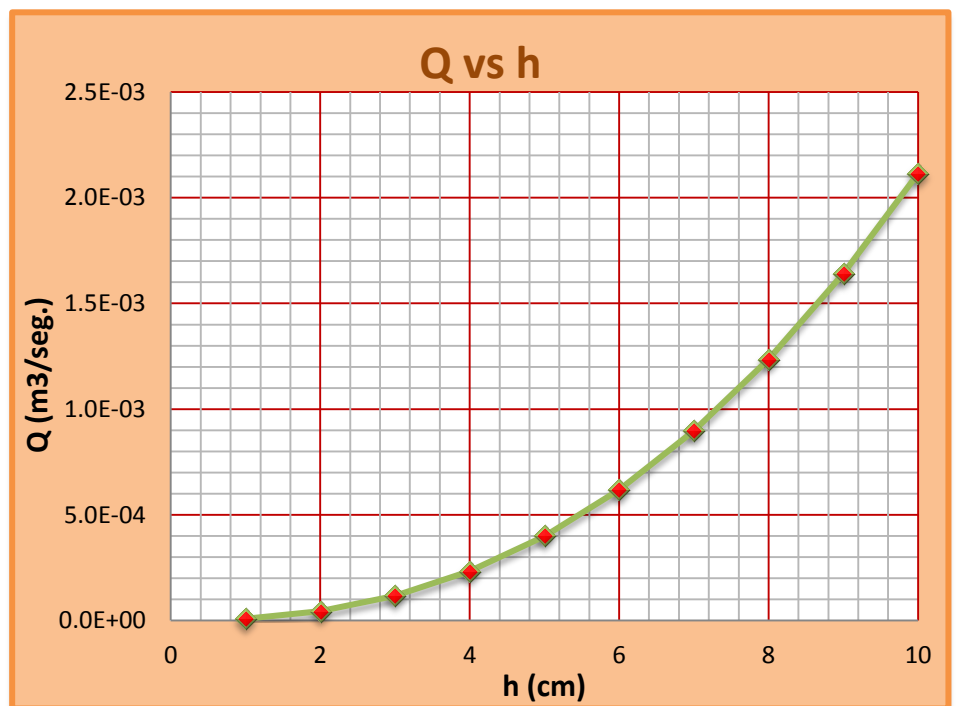
Datos:

$\alpha =$	0.8287
$\beta =$	2.4067

$Qr = \alpha h^\beta$

Gráfico 44: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$.

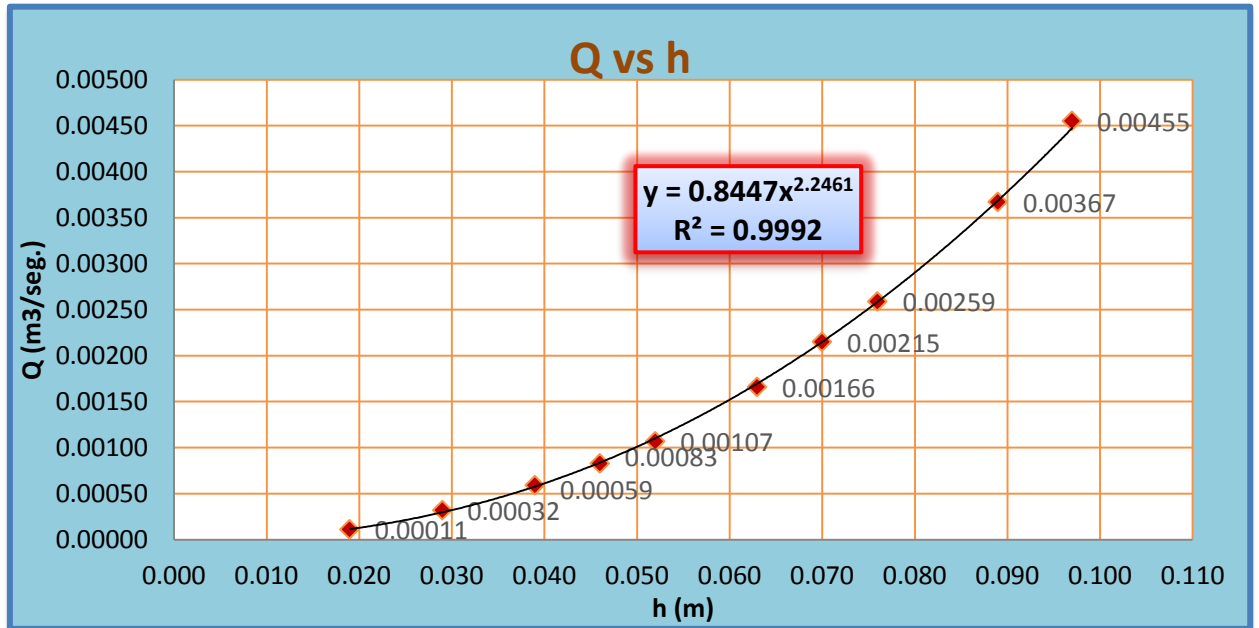
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000829
2	0.00004394
3	0.00011660
4	0.00023301
5	0.00039867
6	0.00061826
7	0.00089597
8	0.00123556
9	0.00164049
10	0.00211396



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.13. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

Gráfico 45: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

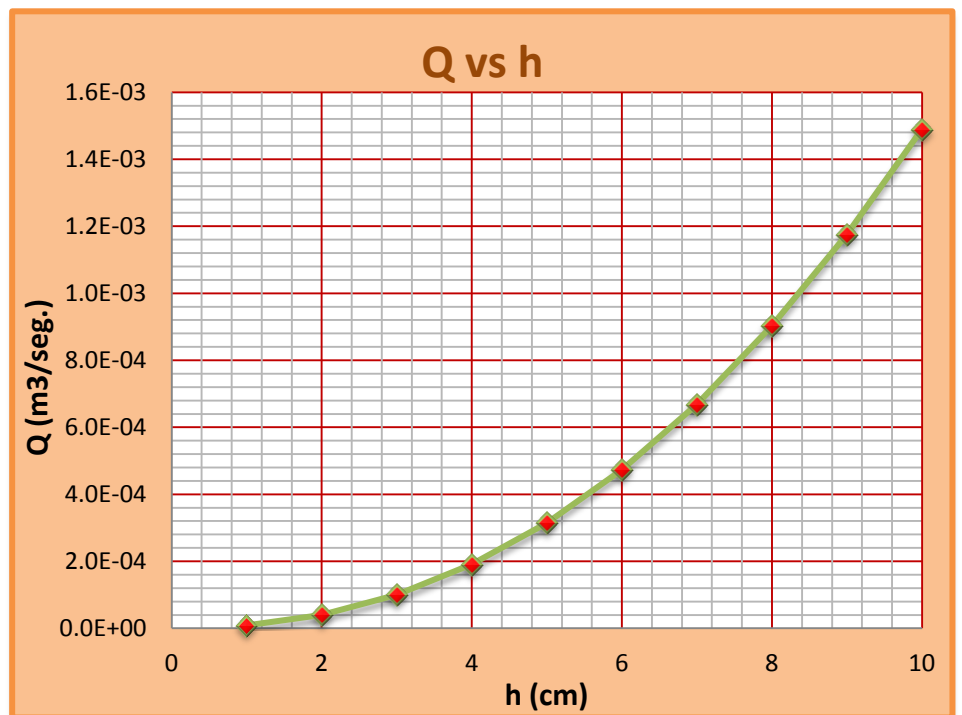
Datos:

$\alpha =$	0.8447
$\beta =$	2.2461

$Q_r = \alpha h^\beta$

Gráfico 46: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$.

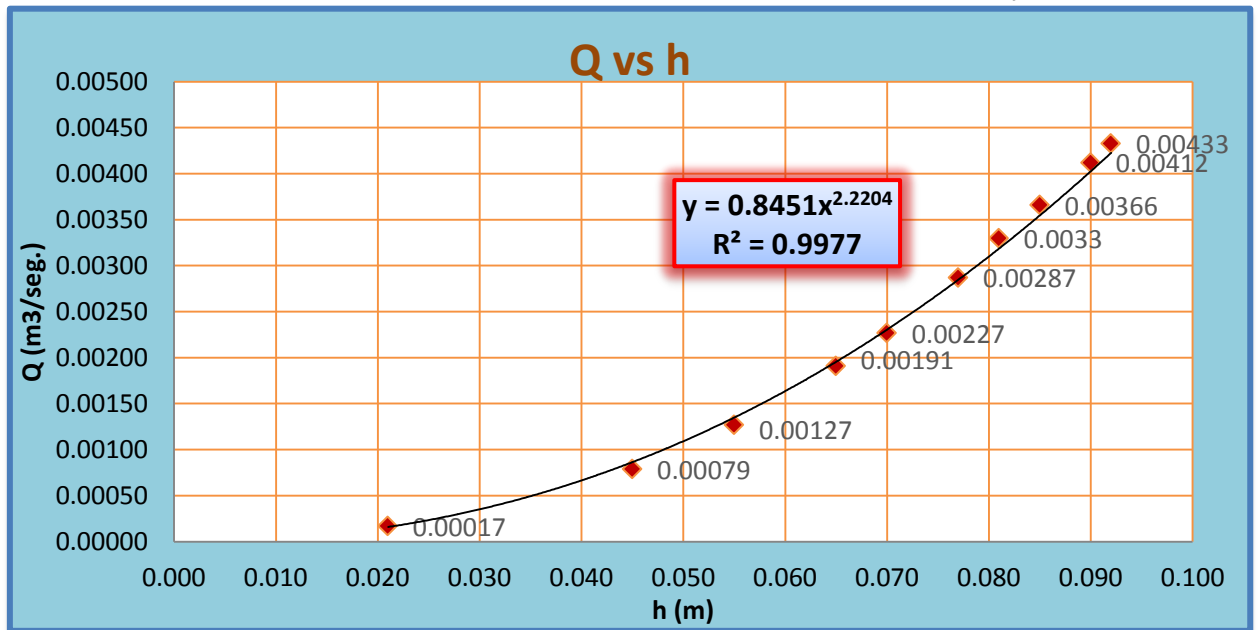
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000845
2	0.00004007
3	0.00009962
4	0.00019010
5	0.00031380
6	0.00047262
7	0.00066815
8	0.00090185
9	0.00117497
10	0.00148868



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.14. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

Gráfico 47: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

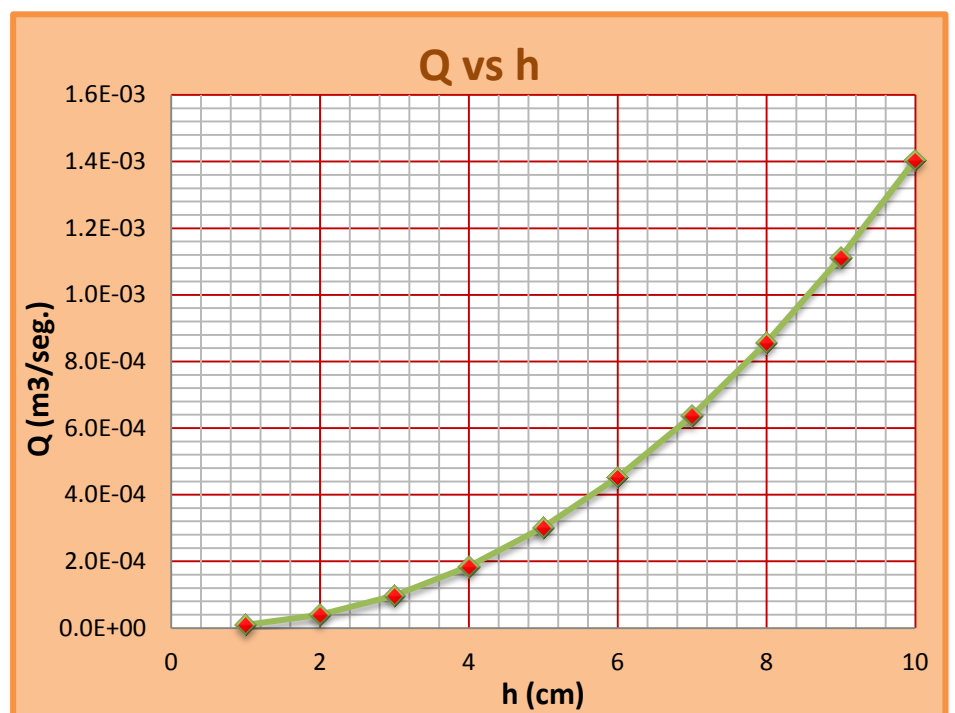
Datos:

$\alpha =$	0.8451
$\beta =$	2.2204

$Q_r = \alpha h^\beta$

Gráfico 48: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$.

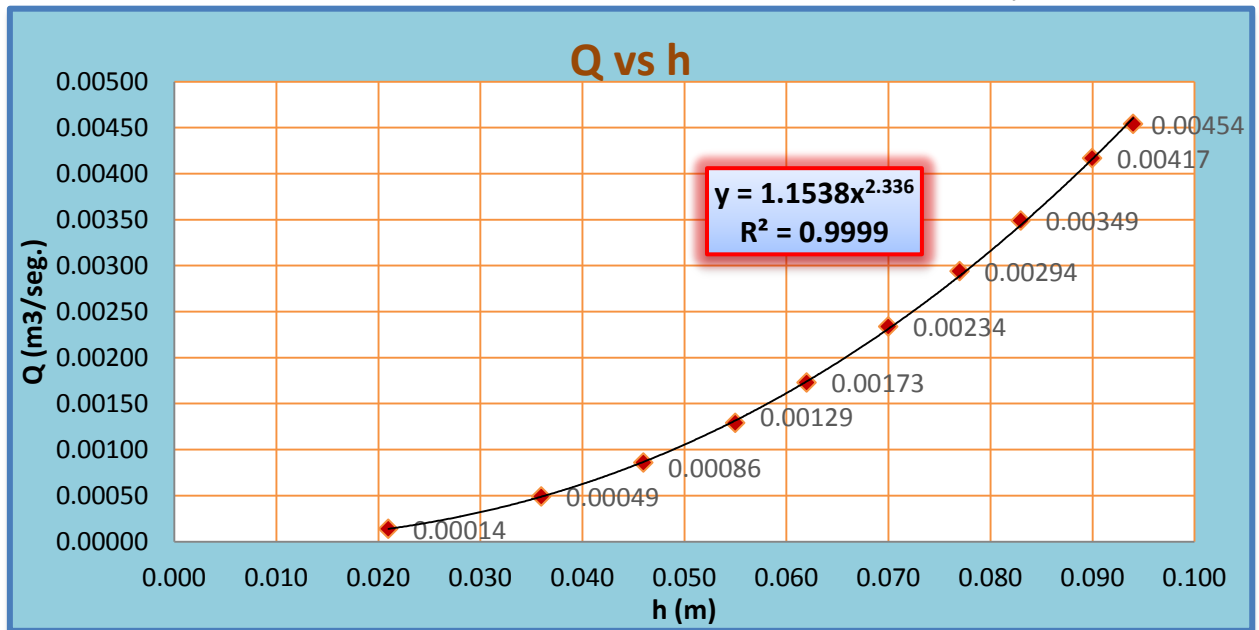
h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00000845
2	0.00003938
3	0.00009690
4	0.00018354
5	0.00030123
6	0.00045156
7	0.00063586
8	0.00085532
9	0.00111098
10	0.00140381



Fuente: Elaboración propia, 2015

4.3.15. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

Gráfico 49: Q vs h, ecuación potencial de vertedero $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

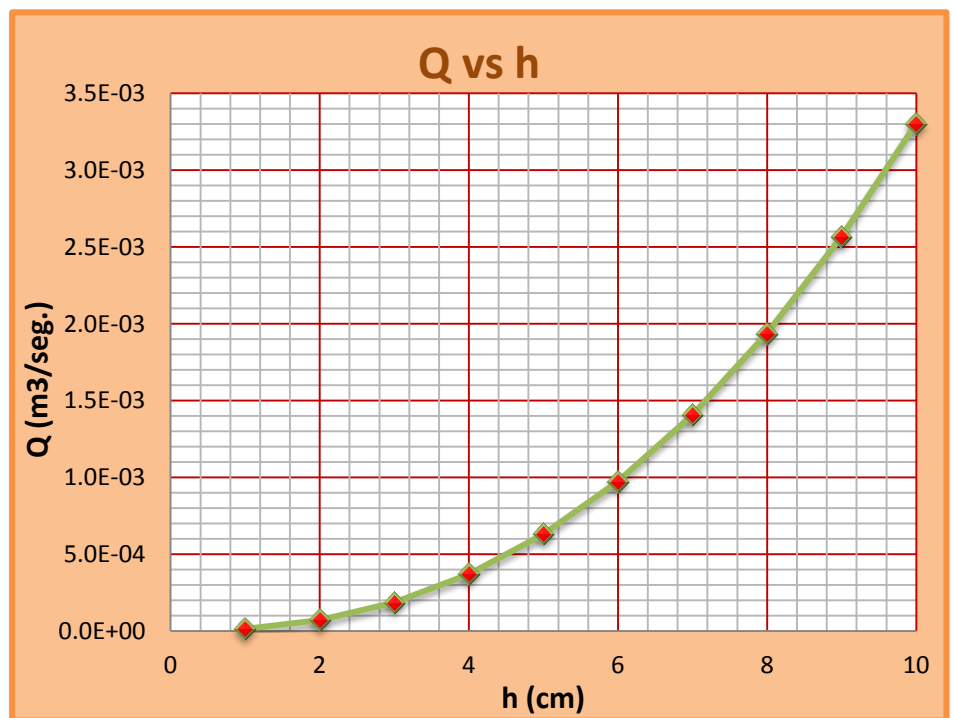
Datos:

$\alpha =$	1.3388
$\beta =$	2.3922

$$Q_r = ah^\beta$$

Gráfico 50: Q vs h, cálculo de caudales, alturas de flujo conocidas $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$.

h (cm)	Qr (m3/seg)
1	0.00001339
2	0.00007028
3	0.00018539
4	0.00036895
5	0.00062920
6	0.00097322
7	0.00140721
8	0.00193681
9	0.00256717
10	0.00330305



Fuente: Elaboración propia, 2015

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

Para el desarrollo de la presente investigación se recurrirá a realizar en primera instancia una investigación de tipo **Documental** con la finalidad de analizar información escrita en la bibliografía y fuentes diversas de información respecto del tema en estudio. Como segunda fase se llevará a cabo una investigación **Descriptiva** donde se realizará una reseña de los rasgos, cualidades y atributos que presentan los vertederos en general, para definir las variables en el proceso de descarga a través de estas estructuras que se medirán, cuantificarán, analizarán y correlacionarán con la finalidad de determinar coeficientes de gasto en distintos vertederos triangulares de pared delgada. A continuación se realizará la fase de investigación **Cuasi Experimental** donde se analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más de las variables independientes sobre una o varias variables determinadas del fenómeno en estudio en la fase descriptiva. Posterior a la fase experimental se tendrá una fase de investigación **Correlacional**, midiendo el grado de relación entre las variables del tema de estudio, donde se generarán como producto del proyecto de investigación tablas y gráficos que relacionen el coeficiente de gasto respecto de las distintas variables de los vertederos. Finalmente se llegará a la fase **Explicativa** donde se analizarán los resultados dando razón del porqué del fenómeno estudiado y la relación que existe entre las distintas variables y la determinación o asignación del coeficiente de gasto.

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Unidad de estudio.

Vertederos triangulares de pared delgada en el canal de pendiente variable UPNC.

5.2.2. Población.

Vertederos triangulares de pared delgada

5.2.3. Muestra.

Vertederos triangulares de 15°, 30°, 45°, 60° y 90°.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Para recolectar datos

a. Fuentes Primarias

Ensayos: Se realizarán ensayos en el canal de pendiente variable de la UPNC.

b. Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias son aquellas de las que se obtendrá información de estudios, proyectos, análisis y otros tipos de documentos elaborados por otros estudiantes, profesionales, como las siguientes:

- Revistas
- Tesis
- Manuales de laboratorios de otras universidades.
- Páginas Web

5.3.2. Para procesar datos

Se utilizarán como herramientas de procesamiento de información los siguientes programas:

- Microsoft Excel (Generación de gráficos)
- Microsoft Word (Procesamiento de datos)
- AutoCAD.

5.3.3. Para recolectar datos.

- Canal de Pendiente Variable.
- Vertederos de Material Acrílico y porcelanato espesor (8mm).
- Probeta graduada (aproximación al ml).
- Cronómetro.
- Vertedores Triangulares.
- Cámara fotográfica digital
- Protocolos para toma de lecturas
- Computadora con programas de procesamiento de datos (Excel)

5.3.4. PROCEDIMIENTO

Vertederos Triangulares de pared delgada

El procedimiento que se siguió para elaborar las pruebas de esta investigación fue el siguiente:

- Se elaboraron vertederos de ángulos de 15°, 30°, 45°, y 60°, de material porcelanato de espesor (8mm), ya que es un material rígido y puedan ser válidos para dichos ensayos, ya que el laboratorio de hidráulica sólo cuenta con un vertedero de 90°.
- Luego se procedió a la colocación del vertedero en el centro del canal, donde cuenta con una ranura para poder anclar los vertederos y ver que estos queden bien centrados y fijos.
- Una vez colocado el vertedero se pegó con silicona para evitar las fugas de agua por las paredes laterales del canal de pendiente variable y poder realizar los ensayos.
- Una vez pegado el vertedero se hizo circular el fluido, se verifica que la pendiente esté en el nivel adecuado e indicado para poder realizar cada ensayo.
- Luego se procedió a hacer los ensayos para cada vertedero y pendiente, se empezó con la pendiente más pequeña 1% luego de 2% y 4% respectivamente. Teniendo estos dos parámetros ajustados y un flujo estable, se toman las alturas del flujo que pasan por los vertederos a partir del vértice de vertedero, para posteriormente, aforar los 5 distintos volúmenes y tiempos en un recipiente de 20lt.
- Se hizo el mismo procedimiento para todos los vertederos donde los datos son el volumen, el tiempo, la altura y la pendiente para luego ser procesado los datos en gabinete.
- Luego de realizarse todos los ensayos en laboratorio, se procedió hacer los trabajos en gabinete donde se determinó el caudal promedio, el tiempo promedio, el cual rige para la determinación de los coeficientes de gasto.
- Luego del procesamiento de datos utilizando las fórmulas establecidas hallamos los coeficientes de gasto para cada vertedero para diferentes ángulos, caudales, alturas y pendiente.
- Finalmente obtenemos los coeficientes de gasto, gráficos y tablas.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Vertedero triangular $\theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

$$Qt = \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

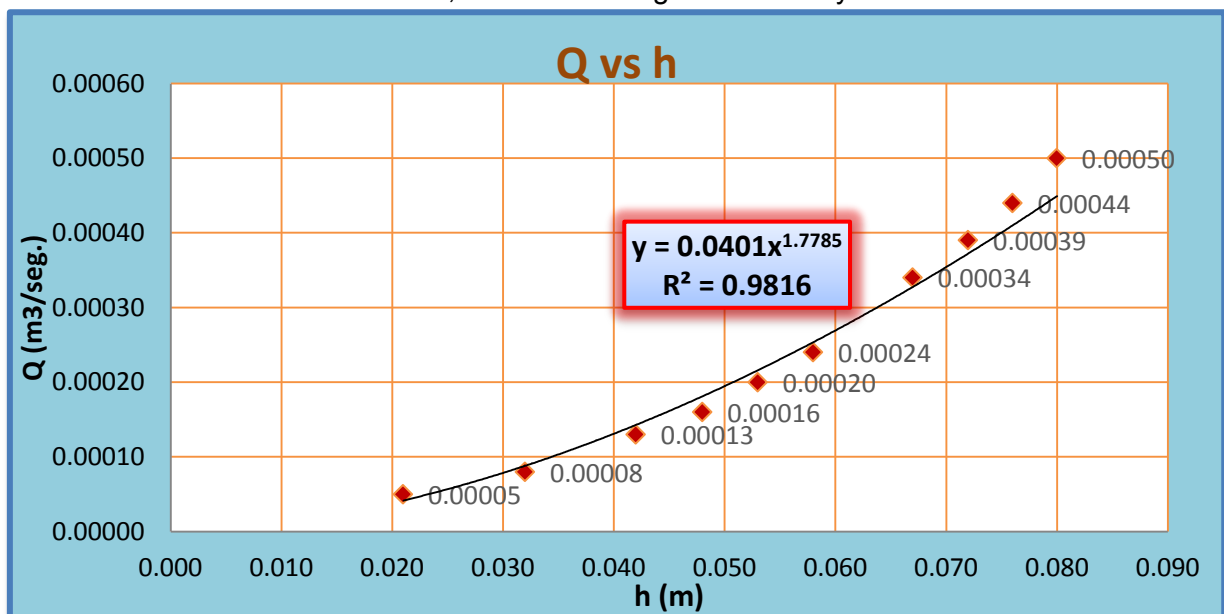
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 18: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01785	35.82	0.00050	0.080	0.00056	0.89286
2	0.01778	40.43	0.00044	0.076	0.00049	0.89796
3	0.01798	46.63	0.00039	0.072	0.00043	0.90698
4	0.01774	51.65	0.00034	0.067	0.00036	0.94444
5	0.01797	74.83	0.00024	0.058	0.00025	0.96000
6	0.01778	89.56	0.00020	0.053	0.00020	1.00000
7	0.01790	111.35	0.00016	0.048	0.00016	1.00000
8	0.01790	141.67	0.00013	0.042	0.00011	1.18182
9	0.01801	218.44	0.00008	0.032	0.00006	1.33333
10	0.01795	351.13	0.00005	0.021	0.00002	2.50000
Cd =						1.0378

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 51: Q vs h, vertedero triangular $\theta = 15^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.2. Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

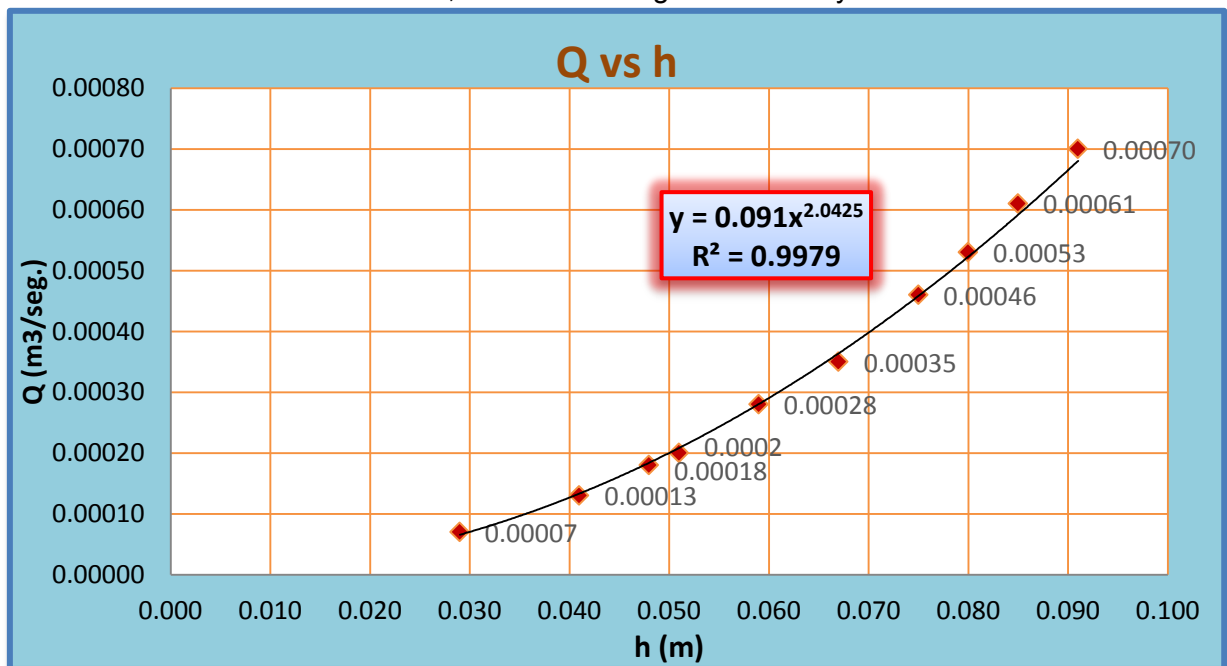
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 19: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01770	25.36	0.00070	0.091	0.00077	0.90909
2	0.01765	28.72	0.00061	0.085	0.00065	0.93846
3	0.01799	33.67	0.00053	0.080	0.00056	0.94643
4	0.01805	39.35	0.00046	0.075	0.00048	0.95833
5	0.01794	50.74	0.00035	0.067	0.00036	0.97222
6	0.01765	62.05	0.00028	0.059	0.00026	1.07692
7	0.01783	87.82	0.0002	0.051	0.00018	1.11111
8	0.01773	99.95	0.00018	0.048	0.00016	1.12500
9	0.01801	140.93	0.00013	0.041	0.00011	1.18182
10	0.01792	257.78	0.00007	0.029	0.00004	1.75000
Cd =						1.0362

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 52: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.3. Vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

$$Qt = \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

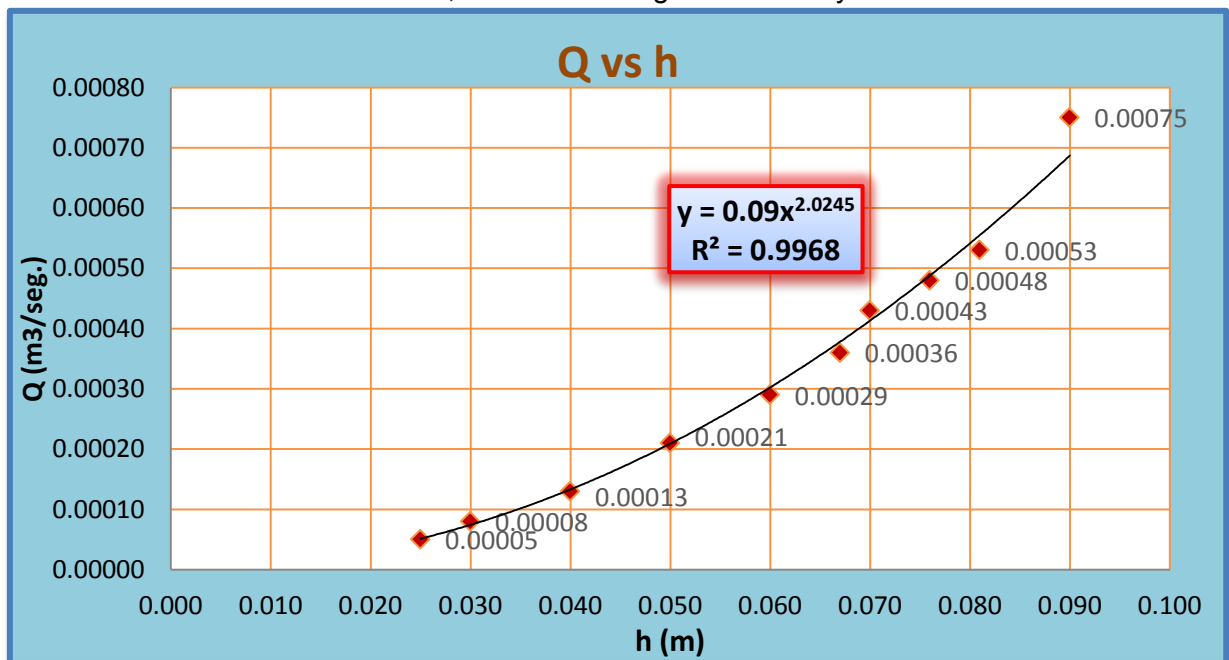
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 20: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01768	21.67	0.00082	0.095	0.00086	0.95349
2	0.01794	31.94	0.00056	0.081	0.00058	0.96552
3	0.01804	37.41	0.00048	0.075	0.00048	1.00000
4	0.01790	41.98	0.00043	0.071	0.00042	1.02381
5	0.01787	49.72	0.00036	0.066	0.00035	1.02857
6	0.01794	61.41	0.00029	0.060	0.00027	1.07407
7	0.01761	85.12	0.00021	0.050	0.00017	1.23529
8	0.01764	132.20	0.00013	0.040	0.00010	1.30000
9	0.01793	210.98	0.00008	0.030	0.00005	1.60000
10	0.01791	337.50	0.00005	0.025	0.00003	1.66667
Cd =						1.0999

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 53: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 15^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.4. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

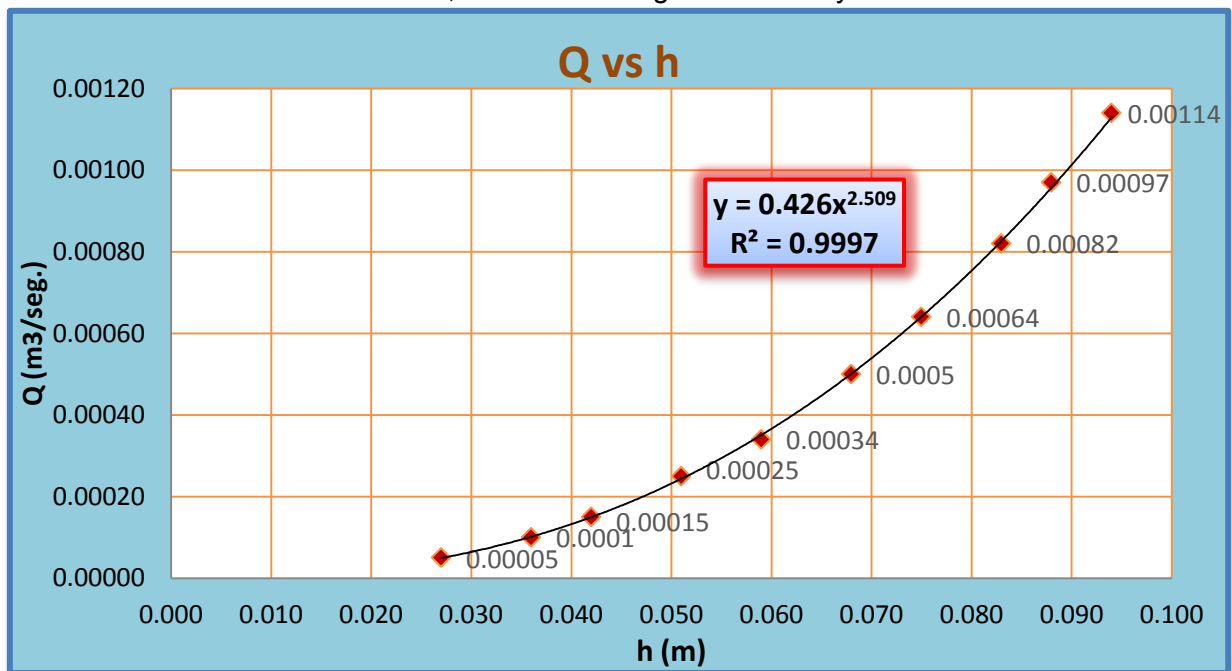
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 21: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01762	15.41	0.00114	0.094	0.00168	0.67857
2	0.01759	18.10	0.00097	0.088	0.00142	0.68310
3	0.01756	21.37	0.00082	0.083	0.00123	0.66667
4	0.01773	27.49	0.00064	0.075	0.00095	0.67368
5	0.01784	35.78	0.0005	0.068	0.00075	0.66667
6	0.01759	52.04	0.00034	0.059	0.00052	0.65385
7	0.01772	70.70	0.00025	0.051	0.00036	0.69444
8	0.01786	116.55	0.00015	0.042	0.00022	0.68182
9	0.01776	182.19	0.0001	0.036	0.00015	0.66667
10	0.01792	390.27	0.00005	0.027	0.00007	0.71429
Cd =						0.6758

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 54: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.5. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

$$Qt = \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

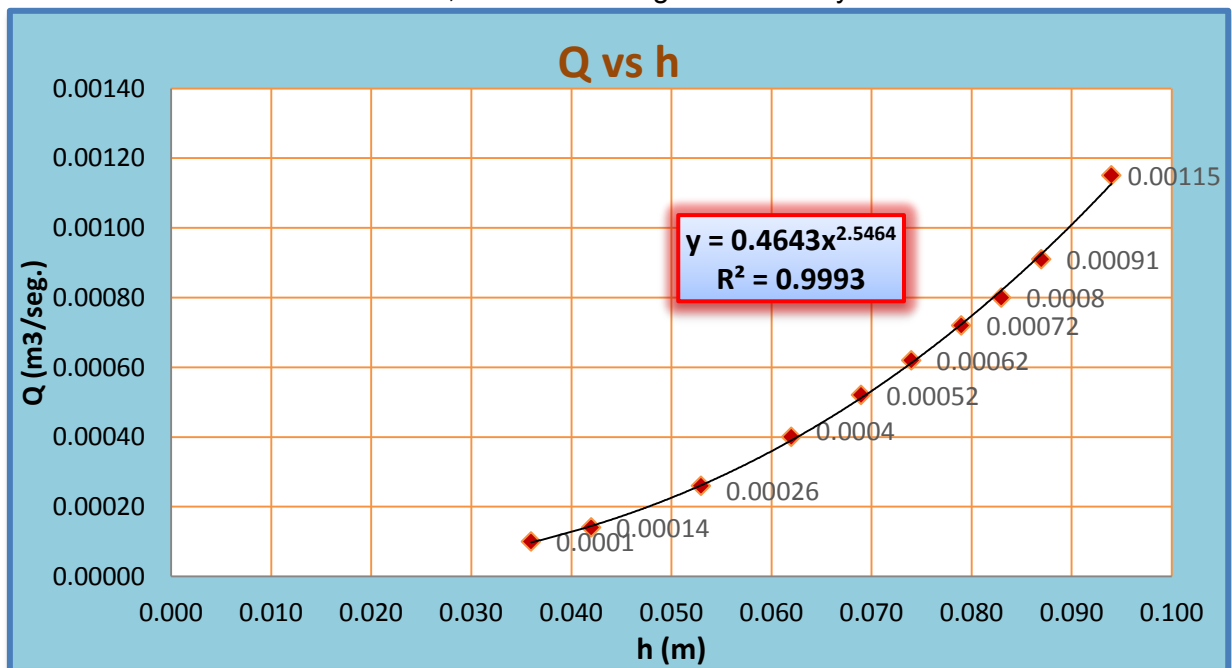
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \text{tang} \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 22: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01755	15.30	0.00115	0.094	0.00168	0.68452
2	0.01758	19.26	0.00091	0.087	0.00138	0.65942
3	0.01778	22.14	0.0008	0.083	0.00123	0.65041
4	0.01782	24.68	0.00072	0.079	0.00108	0.66667
5	0.01790	28.91	0.00062	0.074	0.00092	0.67391
6	0.01758	34.04	0.00052	0.069	0.00077	0.67532
7	0.01779	45.00	0.0004	0.062	0.00059	0.67797
8	0.01774	69.30	0.00026	0.053	0.00040	0.65000
9	0.01787	128.74	0.00014	0.042	0.00022	0.63636
10	0.01789	171.37	0.0001	0.036	0.00015	0.66667
Cd =						0.6658

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 55: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.6. Vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

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

$$C_{d_i} = \frac{Q_r}{Q_t}$$

$$Q_r = C_d * Q_t$$

$$C_d = \frac{\sum C_{d_i} * h}{\sum h}$$

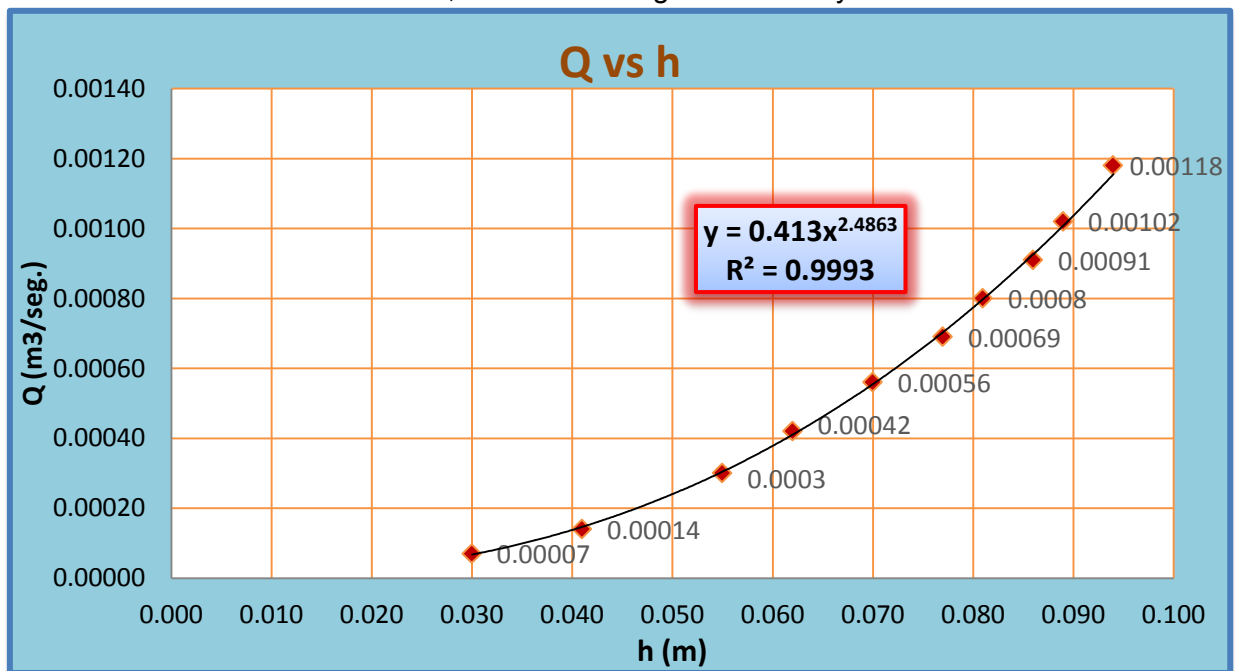
$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 23: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01782	15.15	0.00118	0.094	0.00168	0.70238
2	0.01772	17.31	0.00102	0.089	0.00146	0.69863
3	0.01779	19.52	0.00091	0.086	0.00134	0.67910
4	0.01772	22.16	0.0008	0.081	0.00115	0.69565
5	0.01766	25.58	0.00069	0.077	0.00102	0.67647
6	0.01772	31.52	0.00056	0.070	0.00080	0.70000
7	0.01789	42.11	0.00042	0.062	0.00059	0.71186
8	0.01779	59.43	0.0003	0.055	0.00044	0.68182
9	0.01794	125.87	0.00014	0.041	0.00021	0.66667
10	0.01784	253.63	0.00007	0.030	0.0001	0.70000
Cd =						0.6920

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 56: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 30^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.7. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

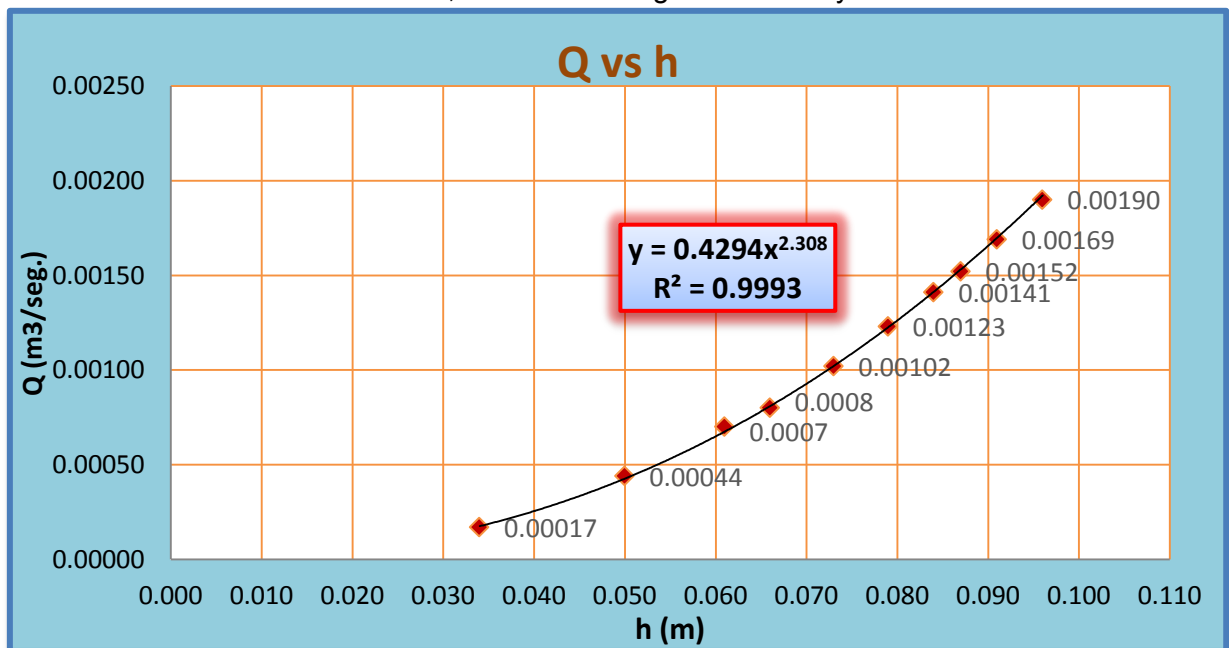
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 24: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01732	9.10	0.00190	0.096	0.00265	0.71698
2	0.01772	10.50	0.00169	0.091	0.00232	0.72845
3	0.01767	11.65	0.00152	0.087	0.00207	0.73430
4	0.01760	12.51	0.00141	0.084	0.00190	0.74211
5	0.01778	14.50	0.00123	0.079	0.00163	0.75460
6	0.01772	17.37	0.00102	0.073	0.00134	0.76119
7	0.01772	22.16	0.0008	0.066	0.00104	0.76923
8	0.01783	25.65	0.0007	0.061	0.00085	0.82353
9	0.01789	40.95	0.00044	0.050	0.00052	0.84615
10	0.01791	104.78	0.00017	0.034	0.0002	0.85000
Cd =						0.7611

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 57: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.8. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

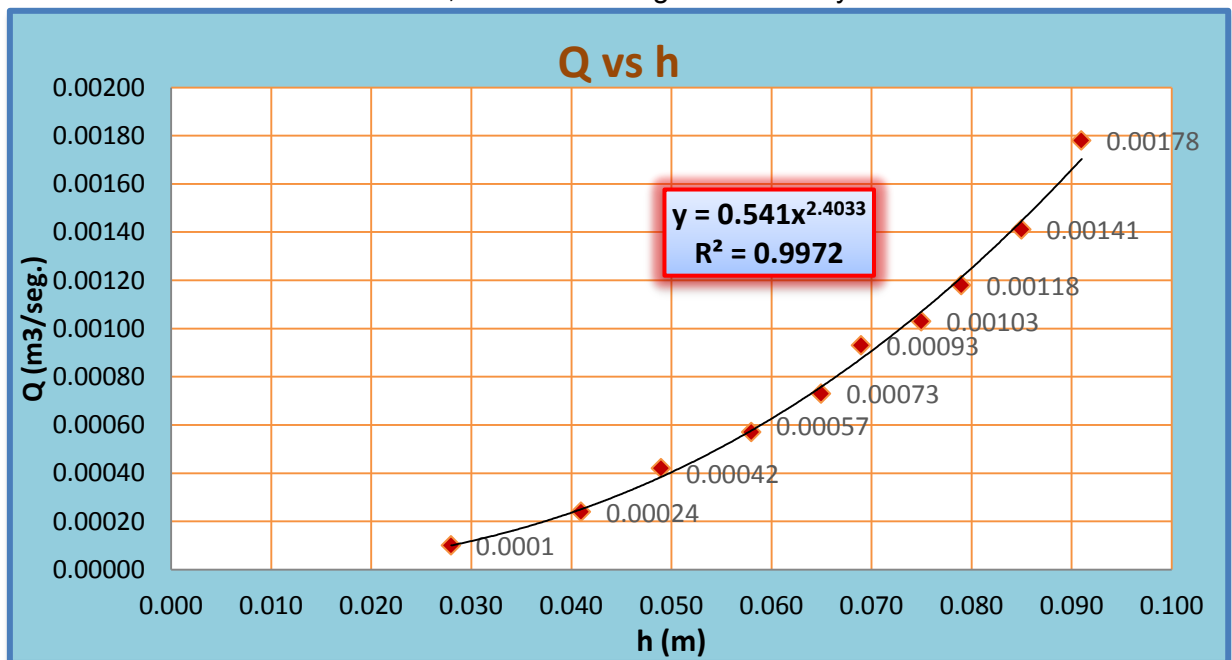
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 25: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01795	10.07	0.00178	0.094	0.00251	0.70916
2	0.01782	12.60	0.00141	0.085	0.00195	0.72308
3	0.01762	14.99	0.00118	0.079	0.00163	0.72393
4	0.01780	17.20	0.00103	0.075	0.00143	0.72028
5	0.01777	19.16	0.00093	0.071	0.00125	0.74400
6	0.01782	24.32	0.00073	0.064	0.00096	0.76042
7	0.01791	31.39	0.00057	0.057	0.00072	0.79167
8	0.01773	41.93	0.00042	0.050	0.00052	0.80769
9	0.01790	69.91	0.00026	0.041	0.00032	0.81250
10	0.01789	175.12	0.0001	0.028	0.00012	0.83333
Cd =						0.7500

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 58: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.9. Vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

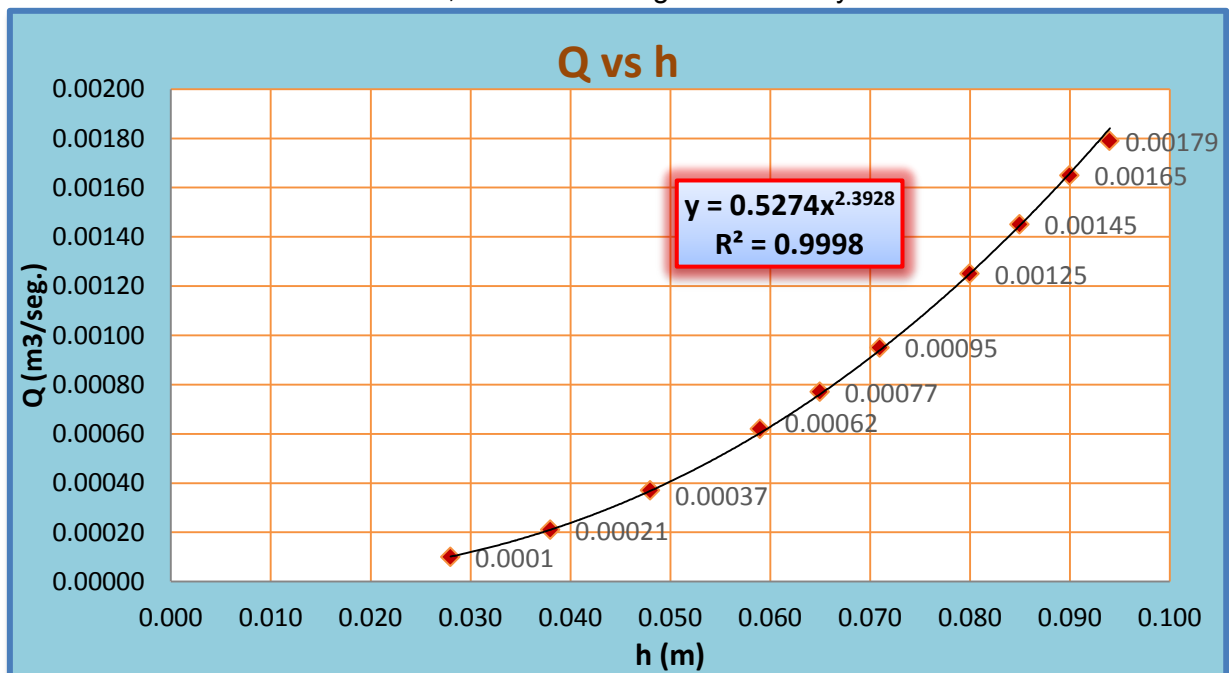
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 26: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01770	9.89	0.00179	0.094	0.00251	0.71315
2	0.01772	10.77	0.00165	0.090	0.00225	0.73333
3	0.01783	12.33	0.00145	0.085	0.00195	0.74359
4	0.01789	14.26	0.00125	0.080	0.00168	0.74405
5	0.01773	18.59	0.00095	0.071	0.00125	0.76000
6	0.01772	22.99	0.00077	0.065	0.00100	0.77000
7	0.01782	28.77	0.00062	0.059	0.00078	0.79487
8	0.01786	48.89	0.00037	0.048	0.00047	0.78723
9	0.01788	86.74	0.00021	0.038	0.00026	0.80769
10	0.01791	176.65	0.0001	0.028	0.00012	0.83333
Cd =						0.7576

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 59: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 45^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.10. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

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

$$C_{d_i} = \frac{Q_r}{Q_t}$$

$$Q_r = C_d * Q_t$$

$$C_d = \frac{\sum C_{d_i} * h}{\sum h}$$

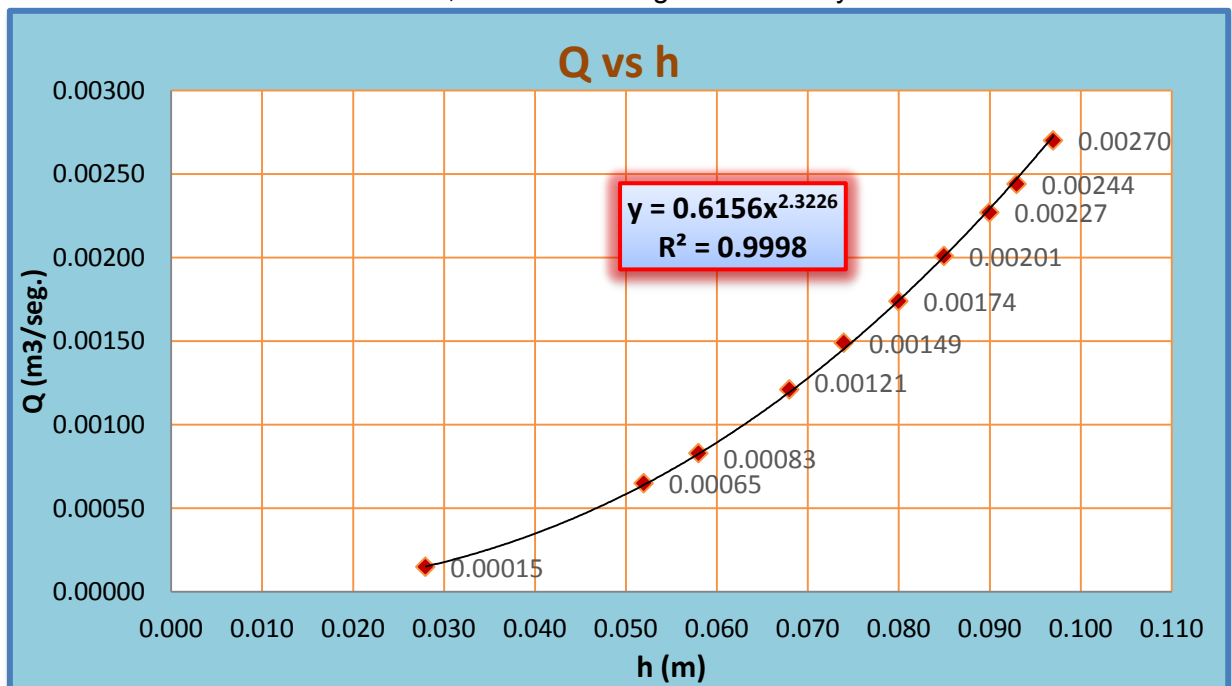
$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 27: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01739	6.44	0.00270	0.097	0.00362	0.74586
2	0.01783	7.32	0.00244	0.093	0.00326	0.74847
3	0.01774	7.82	0.00227	0.090	0.00301	0.75415
4	0.01780	8.87	0.00201	0.085	0.00261	0.77011
5	0.01796	10.34	0.00174	0.080	0.00224	0.77679
6	0.01783	11.95	0.00149	0.074	0.00184	0.80978
7	0.01776	14.71	0.00121	0.068	0.00149	0.81208
8	0.01804	21.71	0.00083	0.058	0.00100	0.83000
9	0.01794	27.47	0.00065	0.052	0.00076	0.85526
10	0.01791	121.38	0.00015	0.028	0.00016	0.93750
Cd =						0.7882

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 60: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.11. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

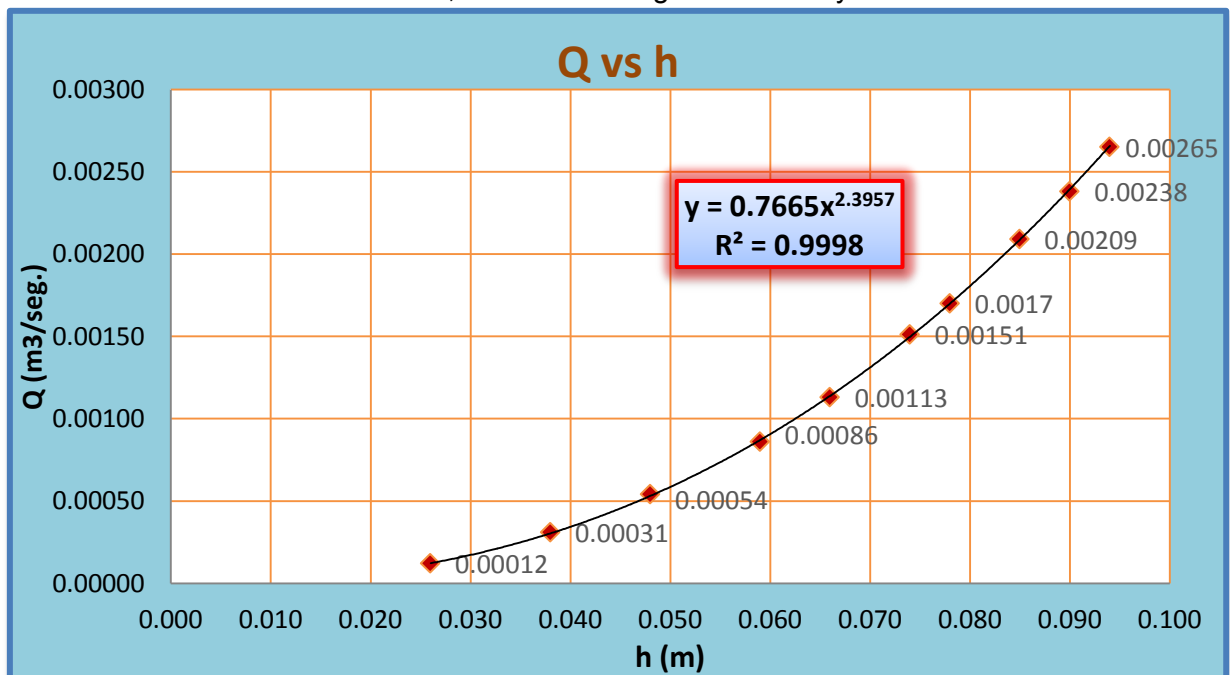
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 28: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01780	6.72	0.00265	0.094	0.00335	0.79104
2	0.01782	7.50	0.00238	0.090	0.00301	0.79070
3	0.01777	8.50	0.00209	0.085	0.00261	0.80077
4	0.01776	10.42	0.0017	0.078	0.00210	0.80952
5	0.01782	11.82	0.00151	0.074	0.00184	0.82065
6	0.01782	15.79	0.00113	0.066	0.00138	0.81884
7	0.01794	20.75	0.00086	0.059	0.00105	0.81905
8	0.01796	33.55	0.00054	0.048	0.00062	0.87097
9	0.01802	58.00	0.00031	0.038	0.00035	0.88571
10	0.01783	148.82	0.00012	0.026	0.00013	0.92308
Cd =						0.8196

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 61: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.12. Vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

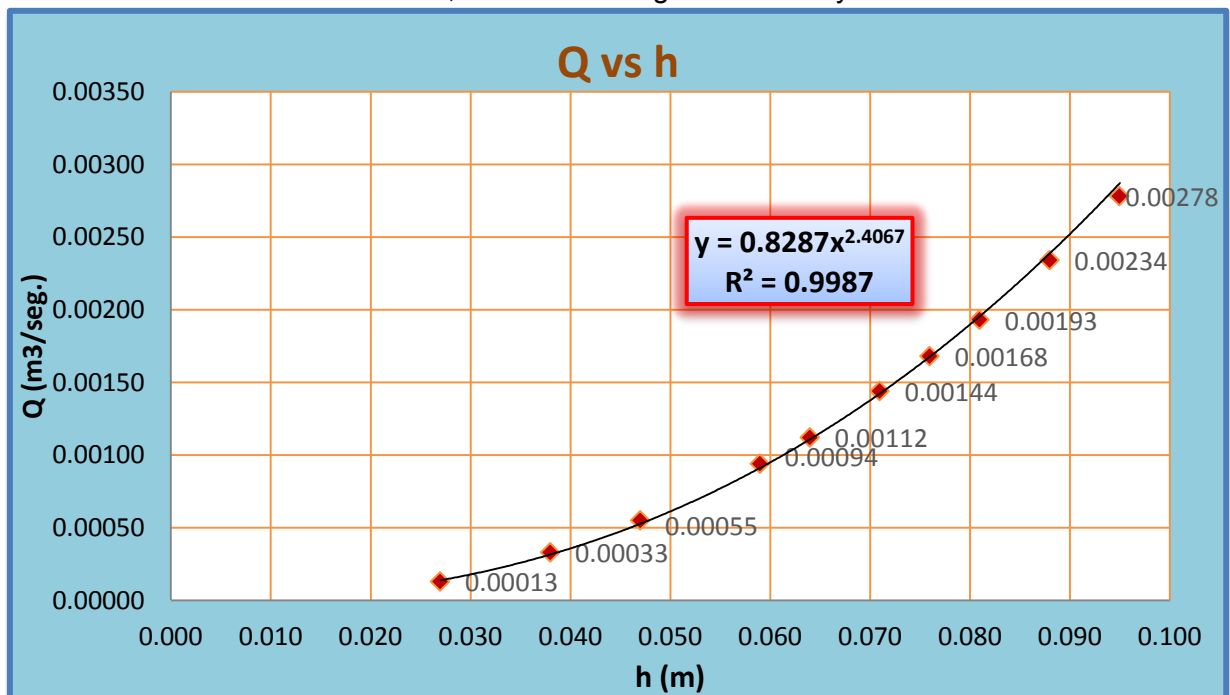
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 29: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01773	6.37	0.00278	0.095	0.00344	0.80814
2	0.01757	7.51	0.00234	0.088	0.00284	0.82394
3	0.01761	9.12	0.00193	0.081	0.00231	0.83550
4	0.01770	10.53	0.00168	0.076	0.00197	0.85279
5	0.01787	12.44	0.00144	0.071	0.00166	0.86747
6	0.01757	15.71	0.00112	0.064	0.00128	0.87500
7	0.01782	18.96	0.00094	0.059	0.00105	0.89524
8	0.01778	32.20	0.00055	0.047	0.00059	0.93220
9	0.01788	53.92	0.00033	0.038	0.00035	0.94286
10	0.01787	142.31	0.00013	0.027	0.00015	0.86667
Cd =						0.8595

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 62: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 60^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.13. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 1\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

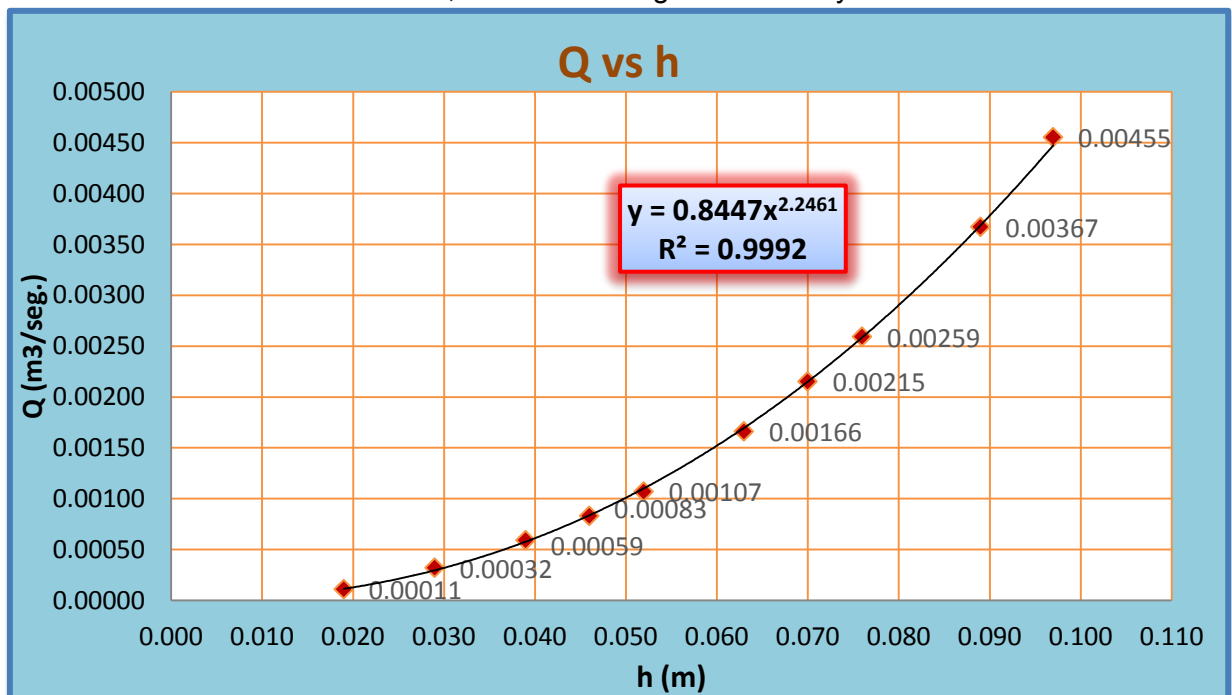
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 30: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01685	3.70	0.00455	0.097	0.00544	0.83640
2	0.01667	4.54	0.00367	0.089	0.00438	0.83790
3	0.01756	6.77	0.00259	0.076	0.00295	0.87797
4	0.01743	8.11	0.00215	0.070	0.00241	0.89212
5	0.01757	10.59	0.00166	0.063	0.00185	0.89730
6	0.01667	15.64	0.00107	0.052	0.00114	0.93860
7	0.01681	20.27	0.00083	0.046	0.00084	0.98810
8	0.01725	29.11	0.00059	0.039	0.00056	1.05357
9	0.01770	54.93	0.00032	0.029	0.00027	1.18519
10	0.01794	164.31	0.00011	0.019	0.00009	1.22222
Cd =						0.9213

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 63: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 1\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.14. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 2\%$.

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

$$C_{d_i} = \frac{Q_r}{Q_t}$$

$$Q_r = C_d * Q_t$$

$$C_d = \frac{\sum C_{d_i} * h}{\sum h}$$

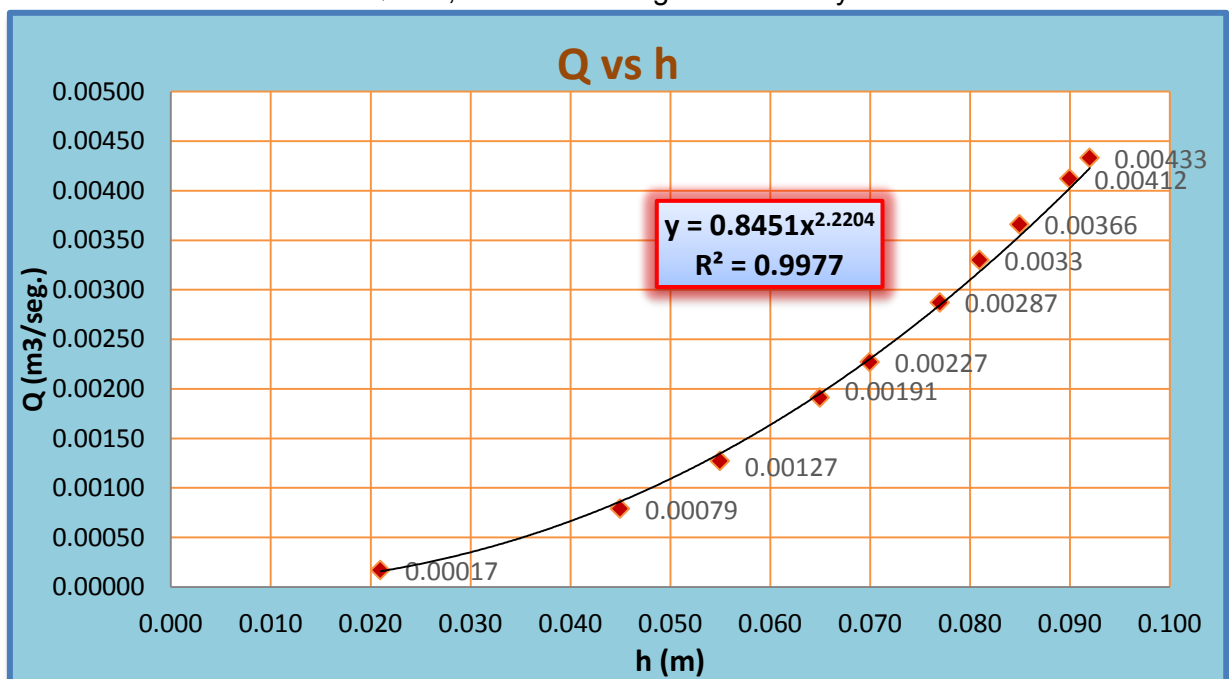
$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 31: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01760	4.06	0.00433	0.092	0.00476	0.90966
2	0.01760	4.27	0.00412	0.090	0.00451	0.91353
3	0.01761	4.81	0.00366	0.085	0.00391	0.93606
4	0.01776	5.38	0.0033	0.081	0.00346	0.95376
5	0.01799	6.26	0.00287	0.077	0.00305	0.94098
6	0.01760	7.75	0.00227	0.070	0.00241	0.94191
7	0.01795	9.40	0.00191	0.065	0.002	0.95500
8	0.01789	14.12	0.00127	0.055	0.00132	0.96212
9	0.01798	22.70	0.00079	0.045	0.0008	0.98750
10	0.01788	107.78	0.00017	0.021	0.00012	1.41667
Cd =						0.9549

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 64: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 2\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

6.15. Vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y pendiente $i = 4\%$.

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

$$Cd_i = \frac{Qr}{Qt}$$

$$Qr = Cd * Qt$$

$$Cd = \frac{\sum Cd_i * h}{\sum h}$$

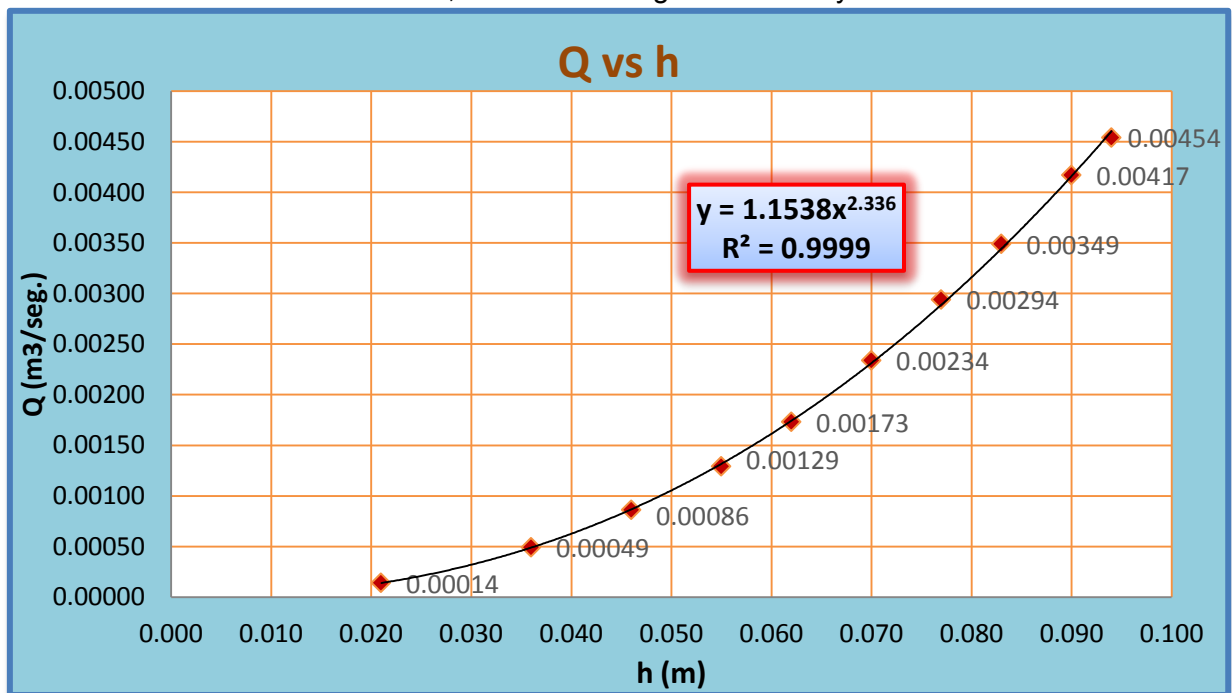
$$Qt = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}$$

Tabla 32: Resultados, coeficientes de gasto vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$.

Prueba	Vol. (m3)	Tiempo (seg.)	Qr (m3/seg.)	h (m)	Qt (m3/seg.)	Cd _i
1	0.01808	3.98	0.00454	0.094	0.00503	0.90258
2	0.01798	4.31	0.00417	0.090	0.00451	0.92461
3	0.01771	5.08	0.00349	0.083	0.00368	0.94837
4	0.01759	5.99	0.00294	0.077	0.00305	0.96393
5	0.01780	7.61	0.00234	0.070	0.00241	0.97095
6	0.01798	10.40	0.00173	0.062	0.00178	0.97191
7	0.01764	13.67	0.00129	0.055	0.00132	0.97727
8	0.01782	20.65	0.00086	0.046	0.00084	1.02381
9	0.01771	36.42	0.00049	0.036	0.00046	1.06522
10	0.01792	128.83	0.00014	0.021	0.00012	1.16667
Cd =						0.9667

Fuente: Elaboración propia, 2015

Gráfico 65: Q vs h, vertedero triangular $\Theta = 90^\circ$ y $i = 4\%$.



Fuente: Elaboración propia, 2015

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

- Según los resultados obtenidos de los coeficientes de gasto en vertederos triangulares de pared delgada, estos varían de acuerdo a las alturas, de flujo que pasa por los vertederos, el ángulo de cada vertedero y la pendiente del canal de pendiente variable.
- Así mismo, los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio son variables, esto depende de los ángulos, altura de flujo y pendiente del canal. Durante el desarrollo del trabajo se ensayaron diferentes vertederos triangulares de diferentes ángulos, con varias alturas de flujo que pasa por los vertederos con distintas pendientes del canal.
- Luego de realizados los ensayos y obtenidos los coeficientes de gasto de cada vertedero se pudo elaborar cuadros, gráficos que ayuden a calcular caudales para estos tipos de vertederos con dichos ángulos y pendientes, para varias alturas que se desee realizar en el laboratorio de hidráulica de la UPNC.
- Con el velocímetro con el que cuenta la UPNC. No se pudieron encontrar las velocidades por lo tanto se realizó el ensayo volumétrico para encontrar los caudales reales.
- Para obtener datos más representativos se podría realizar los ensayos con velocímetros de menor precisión para encontrar las velocidades con el fin de apreciar mejor los coeficientes de gasto de los vertederos.

Tabla 32: Resumen de coeficientes de gasto de vertederos triangulares.

θ	Cd		
	i = 1%	i = 2%	i = 4%
15°	1.03777	1.03616	1.0999
30°	0.67577	0.66575	0.69198
45°	0.76107	0.74997	0.75758
60°	0.78819	0.81959	0.85947
90°	0.92129	0.95491	0.96674

Fuente: Elaboración propia, 2015

- En la tabla mostrada podemos identificar como varían los coeficientes de gasto, estos valores varían de acuerdo al ángulo, caudal, altura y pendiente, tenemos que a menor pendiente los coeficientes son menores y a mayor pendiente los coeficientes son mayores respectivamente, además se puede identificar como varían de acuerdo al ángulo que van de menor a mayor, en dichos vertederos triangulares para ángulos de 15°, 30°, 45°, 60° y 90° y pendientes de 1%, 2%, 4%.

CONCLUSIONES

- De la investigación se llegó a determinar los coeficientes de gasto en vertederos triangulares de pared delgada en el canal de pendiente variable, donde se concluye que los coeficientes de gasto son variables y esto depende del ángulo, caudal, altura y pendiente.
- Al obtener los coeficientes de gasto experimentalmente para vertederos triangulares, de acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio se identifica una variación de los coeficientes de gasto para dichos vertederos con diferentes características.
- Al clasificar los coeficientes de gasto de acuerdo al funcionamiento y condiciones del canal se obtiene valores reales para poder clasificarlos de acuerdo a las pendientes de dicho canal.
- La propuesta para determinar los coeficientes de gasto expuesto en la presente investigación es válida para las condiciones ensayadas.

RECOMENDACIONES

- Cuando se tenga que hacer investigaciones similares en el canal de pendiente variable se pueden usar otros modelos geométricos de vertederos y poder ensayarlos y calcular sus coeficientes de gasto.
- A las futuras investigaciones se los invita a utilizar los equipos con las que cuenta el laboratorio de hidráulica de la UPNC.

REFERENCIAS

- Calle, F. M. (2004). *“Sedimentación del reservorio de Poechos y recuperación de volumen de agua de regulación para Sistema Chira-Piura*. PIURA: Instituto Nacional de Planificación.
- Fernández, A. D. (2008). *CANALES DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS*. GIJÓN: E.S. DE LA MARINA CIVIL.
- Garía, J. E. (2012). El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. *INGENIERIA NAVAL*, 36.
- Jacinto, D. D. (2007). *DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE GASTO DEL AFORADOR VENTURI PARA CANAL*. MÉXICO: TESIS.
- Linares, J. M. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CANAL HIDRÁULICO DE PENDIENTE VARIABLE PARA USO DIDACTICO E INVESTIGACIÓN*. San Salvador: TESIS.
- Mahecha, O. M. (2012). *LABORATORIOS ESPECIALIZADOS*. COLOMBIA: FUNDACION UNIVERSITARIA DE COLOMBIA.
- Martínez, M. A. (2013). *VISITA TÉCNICA LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA*. Lima - Perú: Facultad de Ingeniería.
- Mejía, J. R. (2013). *DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE*. COLOMBIA: FACULTAD DE MINAS.
- Meza, D. B. (2013). *LABORATORIO DE HÍDRAULICA / VERTEDEROS*. BARRANQUILLA: FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
- Monroy, M. A. (2010). *MEDIDORES DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS*. GUATEMALA: tesis.
- Ochoa, A. M. (2003). *DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE GASTO DE VERTEDEROS EN EL CANAL HIDRODINÁMICO DE PENDIENTE VARIABLE*. MÉXICO: TESIS.
- Pérez, R. M. (2005). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA*. MEDELLÍN: FACULTAD DE MINAS.
- Ramos, H. P. (2011). *EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS COEFICIENTES DE GASTOS UTILIZADOS EN FÓRMULAS DE VERTEDEROS EN DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN*. TESIS, 7.
- Rosales, J. C. (2005). *Avances en Hidrodinámica Experimental en el*. Lima-Perú: CEHIDUNI.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO

FOTO N° 1: Realizando una inspección previa a los ensayos a realizarse.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 2: Asesor verificando alturas del flujo.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 3: Medición de altura de flujo que pasa por el vertedero existente.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 4: Medición de alturas de vertedero existente.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 5: Verificando si es posible encontrar las velocidades con el velocímetro.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 6: Midiendo las velocidades en la parte inferior del canal donde las velocidades son mayores y donde si tenemos resultados.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 7: Valores tomados en la parte inferior del canal cuando el flujo pasa del vertedero.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 8: Medición de caudal que pasa por el canal de pendiente variable



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 9: Trazando la línea base a partir de la parte final del vertedero para poder medir las alturas del vertedero existente.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 10: Realizando los ensayos de caudales por el método volumétrico.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 11: Elaborando vertederos para diferentes ángulos no existentes en laboratorio.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 12: Midiendo los ángulos de cada vertedero.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 13: Haciendo los cortes de los vertederos.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 14: Rebajando las paredes de los vertederos.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 15: Se puede identificar el resultado de la fabricación de vertederos.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 16: Podemos identificar los vertederos de diferentes ángulos.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 17: Se puede identificar el paso del flujo por el vertedero.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 18: Realizando los ensayos.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 19: Haciendo nuevas mediciones de altura.



FUENTE: Elaboración propia, 2015

FOTO N° 20: Midiendo las alturas de flujo.



FUENTE: Elaboración propia, 2015