

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
HIDRÁULICO DEL CAUDAL DE FLUJO PARA RUGOSIDADES  
DE TIERRA RESPECTO A OTROS MATERIALES”**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA**

**AUTORES:** BR. CORREA LICHAM, FRANCO RENATTO  
BR. SANTA MARÍA LIZARAZO, GERMÁN LUIS

**ASESOR:** MS. NARVÁEZ ARANDA, RICARDO ANDRÉS

**TRUJILLO - PERÚ**

**2016**

## INDICE

Acreditaciones	i
Presentación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas	xii
Índice de Gráficos	xiii

# ACREDITACIONES

TÍTULO: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
HIDRÁULICO DEL CAUDAL DE FLUJO PARA RUGOSIDADES DE  
TIERRA RESPECTO A OTROS MATERIALES”

AUTOR (ES):

BR. CORREA LICHAM, FRANCO RENATTO

BR. SANTA MARÍA LIZARAZO, GERMÁN LUIS

APROBADO POR:

---

Ing. Guillermo Juan Cabanillas Quiroz  
PRESIDENTE  
N° CIP 72902

---

Ing. Oswaldo Hurtado Zamora  
SECRETARIO  
N° CIP 63712

---

Ing. Manuel Alberto Vértiz Malabrigo  
VOCAL  
N° CIP 71188

---

Ms. Ricardo Andrés Narváez Aranda  
ASESOR  
N° CIP 58766

# PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “Estudio comparativo del comportamiento hidráulico del caudal de flujo para rugosidades de tierra respecto a otros materiales”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Trujillo, 15 de Diciembre de 2016.

Br. Franco Renatto Correa Licham  
Br. Germán Luis Santa María Lizarazo

# DEDICATORIA

El siguiente trabajo de tesis está dedicado a mis padres, que gracias a sus esfuerzos, apoyo incondicional y amor he logrado culminar mis estudios, y junto a mi hermano Fabio y a mi enamorada Anita son la razón de querer seguir adelante.

Y a todas las personas cercanas que me apoyaron durante todo este proceso de desarrollo del mismo.

Franco Renatto Correa Licham

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y, sobretodo, a mis padres por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un privilegio ser su hijo son los mejores padres.

Germán Luis Santa María Lizarazo

# AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud y fuerzas para completar con cada uno de mis metas.

A mis padres por ser el camino y motor de todo el éxito que me depara.

Al Ing. Ricardo Narváez Arana por su apoyo y experiencia indispensables en el desarrollo de esta tesis

Y a mi compañero de tesis por la motivación, buena voluntad y amistad que lo caracterizan.

Franco Renatto Correa Licham

A Dios por permitirme conseguir un logro más culminando mi carrera profesional. A mis padres por ser quienes me formaron y brindaron su apoyo incondicional así como su paciencia y consejos. Al Ing. Ricardo Narváez Aranda por guiarme en la realización de este trabajo producto de sus conocimientos y amplia experiencia.

Y a mi compañero de tesis por su empeño, gran consejo y su amistad incondicional.

German Luis Santa María Lizarazo

## **RESUMEN**

Esta tesis tiene como propósito fundamental ayudar a mejorar el universo de información que existe para diseño de canales; así como en el modelamiento de una sección hidráulica óptima que genere máxima conductividad a base de la rugosidad usada como fondo de canal.

En la construcción de canales abiertos revestidos, se demostró la importancia de una adecuada superficie rugosa para mantener un flujo uniforme y con las características hidráulicas necesitadas.

Por lo que se planteó una metodología para evaluar el comportamiento de un caudal de flujo en diferentes superficies tomando en cuenta sus características rugosas.

Teniendo como canal típico de tierra a una superficie de gravilla, el comportamiento de su caudal de flujo será comparada con tres diferentes superficies: grass sintético, canto rodado y fondo ondulado, en un canal de procesos morfológicos en un laboratorio.

De esta forma, se hará un análisis comparativo tomando en cuenta sus características hidráulicas.

## **ABSTRACT**

This thesis aims to help improving the universe of information that exists for channel design; as well as the modeling of an optimum hydraulic section that generates maximum conductivity based on the roughness used as channel bottom.

In the construction of coated open channels, the importance of a suitable rough surface was demonstrated to maintain a uniform flow and with the needed hydraulic characteristics.

Therefore, a methodology was proposed to evaluate the behavior of a flow rate in different surfaces taking into account their rough characteristics.

Having as a typical soil channel a gravel surface, the behavior of its flow rate will be compared to three different surfaces: synthetic grass, boulder and corrugated bottom, in a channel of morphological processes in a laboratory.

In this way, a comparative analysis will be made taking into account its hydraulic characteristics.



## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Realidad problemática.....	1
1.2.	Delimitación del problema .....	1
1.3.	Características y análisis del problema.....	1
1.4.	Formulación del Problema.....	2
1.5.	Formulación de la Hipótesis.....	2
1.6.	Objetivos del estudio.....	2
1.6.1.	Objetivo General .....	2
1.6.2.	Objetivos Específicos .....	2
1.7.	Justificación del Estudio.....	2
1.7.1.	Importancia de la investigación .....	2
1.7.2.	Viabilidad de la investigación .....	3
1.8.	Limitaciones del estudio .....	3
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.	Antecedentes de la Investigación .....	4
2.2.	Fundamentación teórica de la investigación .....	7
A.	Canal.....	7
B.	Canales Revestidos y No Revestidos .....	8
C.	Caudal.....	9
D.	Flujo de un Canal.....	10
E.	Diseño de Canales .....	15
F.	Secciones Hidráulicas .....	20
G.	Rugosidad .....	21
H.	Talud.....	23
I.	Velocidades Máxima y Mínima Permisible.....	24
J.	Fenómenos Hidráulicos .....	26
K.	Canal de Procesos Morfológicos .....	29
2.3.	Definición de términos básicos .....	31
3.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	32
3.1.	Material .....	32
3.1.1.	Muestra.....	32
3.1.2.	Unidad de Análisis .....	32
3.2.	Método .....	32
3.2.1.	Nivel de Investigación .....	32

3.2.2.	Diseño de Investigación .....	32
3.2.3.	VARIABLES DE ESTUDIO Y OPERACIONALIZACIÓN.....	33
3.2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos .....	34
A)	DISEÑO Y ELABORACION DE LAS SUPERFICIES .....	34
B)	ENSAYO EXPERIMENTAL EN EL CANAL.....	39
C)	TABLAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO .....	51
3.2.5.	Técnicas de Procesamiento de datos .....	56
A)	Proceso Matemático de las variables por medio de Microsoft Excel .....	56
B)	Proceso Matemático de las variables por medio de H-Canales.....	60
C)	Proceso Matemático de las variables por modelamiento en Hec-Ras.....	64
3.2.6.	Técnicas de análisis de datos .....	68
A)	Gráficas comparativas de características hidráulicas entre materiales .....	68
B)	Gráficas de rangos de coeficientes de rugosidad por material .....	73
4.	RESULTADOS.....	77
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
6.	CONCLUSIONES.....	79
7.	RECOMENDACIONES .....	79
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
	ANEXOS .....	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1-1. Flujo Permanente	11
Figura N° 1-2. Flujo No Permanente	12
Figura N° 1-3. Flujo Uniforme	12
Figura N° 1-4. Flujo Variado	13
Figura N° 1-5. Flujo Laminar	14
Figura N° 1-6. Flujo Turbulento	15
Figura N° 2-1. Elementos de una curva	17
Figura N° 2-2. Elementos de una curva	19
Figura N° 3-1. Caída Hidráulica	27
Figura N° 3-2. Fuerza Específica	28
Figura N° 4-1. Canal de Procesos Morfológicos	30
Figura N° 4-2. Bomba de 1 Hp	30
Figura N° 4-3. Pozo Disipador	30
Figura N° 4-4. Vertedero	31
Figura N° 5-1. Canto Rodado	34
Figura N° 5-2. Calamina	34
Figura N° 5-3. Grass Sintético	35
Figura N° 5-4. Superficie de Policarbonato	35
Figura N° 5-5. Medidas y corte a la calamina	36
Figura N° 5-5. Medidas y corte al grass sintético	36
Figura N° 5-6. Perforación del policarbonato	37
Figura N° 5-7. Empernado de la superficie de grass sintético	37
Figura N° 5-8. Empernado de la superficie de fondo ondulado	38
Figura N° 5-9. Pegado del canto rodado	38
Figura N° 5-10. Superficie de Canto rodado	39
Figura N° 5-11. Colocación de la superficie de pendiente mínima	39
Figura N° 5-12. Medición del tirante en pendiente mínima	40
Figura N° 5-13. Prueba del flotador en la superficie de grass sintético	40
Figura N° 5-14. Vertedero triangular	41
Figura N° 5-15. Nivel de agua del Vertedero	41
Figura N° 5-16. Superficie de grass sintético en pendiente de 0.0214	41

Figura N° 5-17. Superficie de grass sintético en pendiente de 0.0286	42
Figura N° 5-18. Inicios de pruebas en la superficie de pendiente mínima	42
Figura N° 5-19. Cronometrando la esfera en la superficie de fondo ondulado	43
Figura N° 5-20. Midiendo el tirante de la base y la cresta de la superficie ondulada	43
Figura N° 5-21. Vertedero triangular	44
Figura N° 5-22. Nivel de agua del Vertedero	44
Figura N° 5-23. Superficie de fondo ondulado en pendiente de 0.0214	44
Figura N° 5-24. Superficie de fondo ondulado en pendiente de 0.0286	45
Figura N° 5-25. Colocación de la superficie de canto rodado	45
Figura N° 5-26. Superficie de canto rodado	46
Figura N° 5-27. Cronometrando en la superficie de canto rodado	46
Figura N° 5-28. Midiendo el tirante en la superficie de canto rodado	47
Figura N° 5-29. Vertedero Triangular	47
Figura N° 5-30. Nivel de agua del Vertedero	47
Figura N° 5-31. Superficie de canto rodado en pendiente de 0.0214	48
Figura N° 5-32. Superficie de canto rodado en pendiente de 0.0286	48
Figura N° 5-33. Superficie de Gravilla de pendiente mínima	49
Figura N° 5-34. Pruebas de flotador en la superficie de Gravilla	49
Figura N° 5-35. Medición del Tirante	50
Figura N° 5-36. Vertedero Triangular	50
Figura N° 5-37. Nivel de agua del Vertedero	50
Figura N° 5-38. Superficie de Gravilla en pendiente 0.0214	51
Figura N° 5-39. Superficie de Gravilla con pendiente de 0.0286	51
Figura N° 6-1. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0005	60
Figura N° 6-2. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0214	60
Figura N° 6-3. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0286	60
Figura N° 6-4. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0005	61
Figura N° 6-5. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0214	61
Figura N° 6-6. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0286	61
Figura N° 6-7. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0005	62
Figura N° 6-8. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0214	62
Figura N° 6-9. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0286	62
Figura N° 6-10. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0005	63
Figura N° 6-11. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0214	63

Figura N° 6-12. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0286	63
Figura N° 7-1. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0005	64
Figura N° 7-2. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0214	64
Figura N° 7-3. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0286	64
Figura N° 7-4. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0005	65
Figura N° 7-5. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0214	65
Figura N° 7-6. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0286	65
Figura N° 7-7. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0005	66
Figura N° 7-8. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0214	66
Figura N° 7-9. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0286	66
Figura N° 7-10. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0005	67
Figura N° 7-11. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0214	67
Figura N° 7-12. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0286	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Radio mínimo en función al caudal	16
Tabla N° 2. Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$	17
Tabla N° 3. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes	19
Tabla N° 4. Valores de rugosidad “n” de Manning	20
Tabla N° 5. Taludes apropiados para distintos tipos de material	23
Tabla N° 6. Pendientes laterales en canales según tipo de suelo	23
Tabla N° 7. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación	24
Tabla N° 8. Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia	25
Tabla N <sup>a</sup> 9. Variables de estudio y operacionalización	34
Tabla N° 10. Recolección de datos de la superficie de gras sintético	52
Tabla N° 11. Recolección de datos de la superficie de canto rodado	53
Tabla N° 12. Recolección de datos de la superficie de forma ondulada	54
Tabla N° 13. Recolección de datos de la superficie de gravilla	55
Tabla N° 14. Hoja de cálculo Excel, fondo gras sintético	56
Tabla N° 15. Hoja de cálculo Excel, fondo canto rodado	57
Tabla N° 16. Hoja de cálculo Excel, fondo forma ondulada	58
Tabla N° 17. Hoja de cálculo Excel, fondo gravilla	59
Tabla N° 18. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0005	64
Tabla N° 19. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0214	64
Tabla N° 20. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0286	64
Tabla N° 21. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0005	65
Tabla N° 22. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0214	65
Tabla N° 23. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0286	65
Tabla N° 24. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0005	66
Tabla N° 25. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0214	66
Tabla N° 26. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0286	66
Tabla N° 27. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0005	67
Tabla N° 28. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0214	67
Tabla N° 29. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0286	67
Tabla N <sup>a</sup> 30. Resultados	77

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfica 1. Tirante en pendiente de 0.0005	68
Gráfica 2. Tirante en pendiente de 0.0214	68
Gráfica 3. Tirante en pendiente de 0.0286	68
Gráfica 4. Velocidad en pendiente de 0.0005	69
Gráfica 5. Velocidad en pendiente de 0.0214	69
Gráfica 6. Velocidad en pendiente de 0.0286	69
Gráfica 7. Área Hidráulica en pendiente de 0.0005	70
Gráfica 8. Área Hidráulica en pendiente de 0.0214	70
Gráfica 9. Área Hidráulica en pendiente de 0.0286	70
Gráfica 10. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0005	71
Gráfica 11. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0214	71
Gráfica 12. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0286	71
Gráfica 13. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0005	72
Gráfica 14. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0214	72
Gráfica 15. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0286	72
Gráfica 16. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Gravilla	73
Gráfica 17. Gravilla N vs S	73
Gráfica 18. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Grass Sintético	74
Gráfica 19. Grass Sintético N vs S	74
Gráfica 20. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Canto Rodado	75
Gráfica 21. Canto Rodado N vs S	75
Gráfica 22. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Fondo Ondulado	76
Gráfica 23. Fondo Ondulado N vs S	76

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Realidad problemática

En la ingeniería civil, al realizar diseños de canales revestidos y no revestidos, es necesario estudios suficientes del comportamiento hidráulico de un caudal de flujo sobre diferentes superficies. Por lo cual, es necesario hacer pruebas de laboratorio experimentales para determinarlos con diferentes materiales. Por lo general siendo más utilizadas en canales las superficies revestidas (concreto, piedra pegada; etc.) y las que no son revestidas (naturales o excavados) cuyos materiales propios del canal hacen parte las gravas, arenas, y arcillas. A su vez es necesario encontrar alternativas eficientes y económicas que se sumen al universo de materiales para la construcción de canales.

## 1.2. Delimitación del problema

La presente investigación se delimita al estudio del caudal de flujo para diferentes rugosidades en el canal de procesos morfológicos del laboratorio de Mecánica de fluidos e Hidráulica de la UPAO en la ciudad de Trujillo en el año 2016.

## 1.3. Características y análisis del problema

- Ausencia de estudios del comportamiento hidráulico de un caudal de flujo para diferentes tipos de superficies que reemplacen al revestimiento de tierra.

Habiendo solamente valores para superficies típicas como en el caso del coeficiente manning:

<b>n</b>	<b>Superficie</b>
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico. Lima, 2010.



- Falta de equipo y proyectos guías para la realización de ensayos experimentales en el Laboratorio de hidráulica de la UPAO, para la enseñanza y aprendizaje de los alumnos de ingeniería civil en análisis de caudales de flujo.

#### **1.4. Formulación del Problema**

¿Qué comportamiento hidráulico presentan las superficies de gras sintético, canto rodado y forma ondulada frente a la superficie típica de canal de tierra respecto a su rugosidad?

#### **1.5. Formulación de la Hipótesis**

Las superficies de gras sintético, canto rodado y fondo ondulado presentan mejor comportamiento hidráulico, con respecto a su rugosidad, que una superficie típica de canal de tierra.

#### **1.6. Objetivos del estudio**

##### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar el comportamiento hidráulico del caudal de flujo de diferentes rugosidades de Manning frente a la del canal de tierra experimentalmente en laboratorio.

##### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar y Elaborar superficies con materiales que produzcan distintas rugosidades.
- Establecer la sección del canal, pendientes y alturas de lámina que se van a utilizar en el canal de procesos morfológicos.
- Determinar los resultados obtenidos del canal de procesos morfológicos.
- Comparar las características hidráulicas del caudal de flujo para las diferentes superficies usadas.

#### **1.7. Justificación del Estudio**

##### **1.7.1. Importancia de la investigación**

De acuerdo los resultados que se lograrán, se conocerá si las superficies a analizar son alternativas más eficientes como revestimiento para el diseño de

canales de tierra, dado que los materiales empleados son más económicos que materiales usados en canales de concreto.

Siendo relevante en la rama de Ingeniería Hidráulica, en diseño de canales, agrandando el universo de información usada para esta.

Siendo beneficiados los ingenieros civiles hidráulicos dedicados a esta rama y a los alumnos de la carrera profesional de ingeniería civil al poseer nuevo material didáctico para ensayos experimentales en análisis y determinación de características hidráulicas en caudales de flujo en diferentes superficies.

#### **1.7.2. Viabilidad de la investigación**

La investigación es viable porque se poseen los recursos físicos, económicos y de conocimiento necesarios para su realización.

#### **1.8. Limitaciones del estudio**

El eficiente armado de las superficies a usar en el canal de procesos morfológicos para su correcta funcionabilidad en el estudio. Siendo el único limitante el tamaño del equipo que mantiene un caudal constante debido a que se abastece con una bomba de 1 HP.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

1) Gutiérrez Silva, J. (2009). *Calculo Del Coeficiente De Rugosidad De Manning Utilizando Gravilla, Arena, Piedra Pegada Y Tierra Como Fondo Mediante Un Canal A Escala Como Modelo Físico*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de la Salle, Bogotá D.C.

- Objetivos: Determinar el Coeficiente de Rugosidad de Manning utilizando como material de fondo: gravilla, arena, arcilla y piedra pegada como revestimiento en canales mediante un modelo Físico.
- Resultados: Las pruebas realizadas sobre el modelo de canal muestran el comportamiento que tienen los revestimientos de estos cuatro materiales actuando bajo condiciones semejantes a la realidad, sus coeficientes de rugosidad son parte fundamental en el desempeño de la estructura para la cual fue diseñada. Teniendo en cuenta lo anterior puedo concluir que:
  - La rugosidad superficial (material de fondo) tuvo valores de coeficiente de rugosidad altos para las gravas, y considerablemente bajos en arena, arcilla y piedra pegada. Estos valores altos de rugosidad generaron disminución en el nivel de la lámina de agua, también influenciada por la pendiente longitudinal del canal
  - Al haber en el material granular una mala gradación (no hay uniformidad de tamaños de agregado) y una relación de finos y gruesos iguales a uno, esto lleva a ser un valor semejante al encontrado en los libros de hidráulica de canales. Además de darle más rugosidad y un aumento en su perímetro mojado.
  - El material arenoso con un coeficiente relativamente bajo con respecto al de las gravas, afectado con un módulo de finura mayor a tres que es una arena gruesa, produjo aumentos muy leves en su perímetro mojado y disminuciones de lámina de aguas poco notables.
  - La arcilla con unas características en sus límites líquido, plástico e índice de plasticidad, produjeron un coeficiente un poco bajo con

relación al de las arenas. Su colocación en el canal, sin compactar, produjo sedimentación excesiva, no se hizo considerable el aumento en el perímetro mojado, conservando una disminución muy poco notable en el nivel de la lámina comparado con el de las arenas.

- La piedra pegada cuya mezcla de mortero fue 1:3 y gravas seleccionadas al azar, presenta un coeficiente una más bajo con respecto al fondo en tierra, el acabado de esta piedra pegada fue a mano lo que llevo a tener una textura no tan rugosa, no hubo una distribución uniforme de las piedras en la mezcla como tal. no se hace apreciable el aumento en el perímetro mojado y su disminución en el nivel de la lámina de agua tiene el mismo comportamiento que los 2 fondos anteriores a él.
- Las velocidades: en algunos de los fondos se aprecian algunas irregularidades ya que durante el cambio en la pendiente el movimiento del canal produjo una desestabilización del flujo luego, al tratar de medir la lámina de agua, no se esperó su estabilización a flujo uniforme como tal.
- Al relacionar los resultados experimentales con los valores suministrados por las expresiones semi empíricas, se nota cierta aproximación al valor obtenido en laboratorio para las gravas, tomando ambas secciones como parámetros de referencia nótese que el valor calculado no sale de éste.

- Aportes a la Investigación:

Explica cómo se deben de manejar los cambios que tienen una característica diferente entre fondos de material debido a la disminución en el nivel de lámina, mostrándonos los aumentos apreciables y no apreciables del perímetro mojado al igual que la velocidad de flujo.

Además, presenta las fórmulas para conseguir un cálculo más exacto de los coeficientes debido a que se debe tener en cuenta la sedimentación y la socavación.

- 2) Ruberto, A., Carreras, J., Depettris, C. (2003) *Estudio Exploratorio de la Sensibilidad del Coeficiente de Rugosidad en un Río de Llanura*. (Tesis para

optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

- Objetivos: Determinación de la sensibilidad respecto de la pendiente hidráulica en la obtención del coeficiente de rugosidad [n] de Manning en un río típico de llanura de la región chaqueña.
- Resultados: Se ha explorado la variación de la sensibilidad del n de Manning para flujo encauzado, en régimen permanente, en el cauce del río Salado.

Los 11 aforos analizados responden a condiciones de flujo encauzado y sus valores de caudal de 5,8 a 28,9 m<sup>3</sup>/s comprenden los dominantes durante la mayor parte del ciclo hidrológico anual. La cota de desborde del cauce en la sección de Ruta Nacional N°11 es de 48,39m según IGM. Los valores del n de Manning varían entre 0,032 a 0,062 cuando la pendiente toma el valor de 0,00003 (ó 3cm/km) y de 0,048 a 0,101 con pendiente igual a 0,00007 (ó 7cm/km), para flujo encauzado.

- Aporte a la Investigación:  
Explica como calcular el valor del n de Manning que ha sido calculado por el método indirecto, lo que nos indica que un coeficiente de ajuste en el cálculo del caudal. Debido a que ha sido un estudio en un Río, esta tesis, nos brinda la información de cómo medir la velocidad en un número de verticales suficientes, tanto en cauce como en la planicie de desborde y discriminando la variación de velocidades en el tirante. Permittiéndonos así informarnos y aprender a como calcular los valores de n correspondientes a cada uno, para poder precisar y ajustar el parámetro de rugosidad.

3) Guevara, E., Valencia, F., Osío, M., Cartaya, H. (2000). *Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de manning en los grandes ríos de Venezuela*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). INGENIERÍA UC, Venezuela.

- Objetivos: Este trabajo se estima el coeficiente de rugosidad "n" de Manning utilizando las funciones de distribución de velocidades obtenidas mediante los aforos realizados por el Ministerio del Ambiente y de los

Recursos Naturales Renovables (MARNR) en los Grandes Ríos del sur de Venezuela.

Resultado: Considerando que la ecuación de Manning es uno de los métodos de estimación de flujos más conocidos y de aplicación universal, se puede concluir que el modelo encontrado para determinar "n", es útil y de fácil aplicación. La mayor dificultad en la aplicación de la Ecuación de Manning para estimar el caudal de una corriente está en la determinación del coeficiente de rugosidad "n", ya que no existe ningún método exacto para la selección de éste término. Seleccionar un valor de "n" significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado, lo cual, demanda una experiencia del Ingeniero para evitar que el problema se limite a un proceso de aproximaciones.

- Aportes a la Investigación:

Esta tesis nos generó la información sobre cómo encontrar que el valor de "n" pudiéndose calcular en función del diámetro medio de las partículas de fondo. Mostrándonos la relación entre la altura de rugosidad (k) y el coeficiente de rugosidad "n" de Manning. Generándonos conocimiento sobre la variabilidad de "n" en función de la altura de rugosidad (k) y se puede describir mediante dos curvas envolventes (una interna y otra externa), para la estimación aproximada de los rangos de variación del coeficiente de rugosidad.

## **2.2. Fundamentación teórica de la investigación**

### **A. Canal**

Un canal es un cauce artificial de agua, siendo su forma muy variada. La forma perfecta de un canal sería aquella que ofrece la menor resistencia al avance de las aguas y que la naturaleza ha demostrado que resulta ser la semicircular, pero se opta por secciones trapeciales, que resulten inscritas dentro de una circunferencia.

#### 1) Clasificaciones de Canales:

Los podemos clasificar en canales de navegación y canales de conducción.

- Los de navegación: Son cauces artificiales o ríos canalizados, destinados a la circulación de botes, barcasas o buques. Suele adoptarse una de transición entre la parábola y el trapecio. En estos canales el agua está en reposo y su superficie libre es horizontal; los desniveles del terreno se salvan con esclusas.
- Los canales de conducción (de riego, hidroeléctricos o para abastecimientos industriales): Se tiene en cuenta la clase de material del fondo y de los laterales del canal, pues la velocidad de circulación del agua tiene que ser lo suficientemente baja para que no erosione la obra del canal y lo bastante alta para que no se sedimente el lodo que transporta. La velocidad de circulación del agua en un canal está directamente relacionada con el material que reviste las paredes. (Alunni, 2002).

## **B. Canales Revestidos y No Revestidos**

### 1) Canales revestidos

Deben ser impermeable, resistente a la erosión, de bajo costo de construcción y mantenimiento, y durable a la acción de agentes atmosféricos, plantas y animales.

- a) Permitir la conducción del agua, a costos adecuados y velocidades mayores, en áreas de excavación profunda o difícil corte.
- b) Disminuir la filtración y fugas de agua a través del cuerpo del canal y evitar el anegamiento u obras de drenaje costosas en terrenos adyacentes.
- c) Reducir y homogeneizar la rugosidad, con ello las dimensiones de la sección y los volúmenes de excavación.
- d) Asegurar la estabilidad de la sección hidráulica y proteger los taludes del intemperismo y de la acción del agua de lluvia.
- e) Evitar el crecimiento de vegetación y reducir la destrucción de los bordos por el paso de animales.
- f) Reducir los costos anuales de operación y mantenimiento.

## 2) Canales no revestidos

El cuerpo de éste tipo de canales y de los ríos se forma de materiales con partículas de forma, tamaño y propiedades diferentes, que varían desde grandes piedras a material coloidal. Según sea la intensidad del flujo, el material no siempre es capaz de resistir la fuerza de arrastre generada por el agua, que crece conforme aumenta la velocidad. Este aumento de velocidad, generalmente asociado a un incremento de pendiente, puede producir arrastre del material y su posterior depositación en las zonas donde disminuye la velocidad, lo que puede favorecer la inundación de terrenos adyacentes por una disminución de su capacidad hidráulica de conducción.

Cuando no hay revestimiento y el material que se excava es erosionable, las dimensiones de la sección se eligen para evitar la erosión y la sedimentación apreciable, es decir, se buscará impedir el arrastre producido por el flujo en cualquier condición de operación para que el canal sea funcionalmente estable. Esto significa que es más importante que el canal mantenga su sección en equilibrio dentro de los intervalos de fluctuación del gasto, que cualquier otra condición de eficiencia hidráulica, económica o constructiva.

Un canal no se reviste cuando el material del lecho reporta poca pérdida de agua, generalmente en suelos arcillosos, para los que pueden ser suficientes, una vez conformada la sección, la compactación de su plantilla y taludes. (Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación, 2013, p. 5 – 6)

## C. Caudal

El caudal se define como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo.

### 1) Expresiones del Caudal

- El caudal de entrada en una planta de tratamiento, el afluente, es de tantos litros por segundo (L/s).



- El caudal de un pozo o de una mina es de tantos litros por minuto (L/min).
- El caudal de una tubería es de tantos litros por segundo (L/s).
- El caudal que sale de una planta de tratamiento, el efluente, es de tantos metros cúbicos por día (m<sup>3</sup>/día).
- El caudal de un riachuelo o río es de tantos metros cúbicos de agua por día (m<sup>3</sup>/día).

## 2) Formula del Caudal

Por definición el caudal es igual:

$$Q = \text{caudal} = v \cdot S$$

Donde:

V = velocidad media

S = sección transversal del ducto o tubería.

Para el paralelepípedo:  $S = l \cdot h$

Para la tubería:  $S = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2$

El caudal para el Ducto:

$$Q = v \cdot l \cdot h$$

El Caudal para la Tubería

$$Q = v \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2$$

(TECSUP, 2010, p. 1 – 3)

## D. Flujo de un Canal

El flujo en un canal se produce, principalmente, por la acción de la fuerza de gravedad y se caracteriza porque expone una superficie libre a la presión atmosférica, siendo el fluido siempre un líquido, por lo general agua.

El movimiento de un líquido a superficie libre se ve afectado por las mismas fuerzas que intervienen en el flujo dentro de un tubo, a saber:

- La fuerza de gravedad, como la más importante en el movimiento.

- La fuerza de resistencia ocasionada en las fronteras rígidas por la fricción y la naturaleza casi siempre turbulenta del flujo.
- La fuerza producida por la presión que se ejerce sobre las fronteras del canal, particularmente en las zonas donde cambia su geometría.
- La fuerza debida a la viscosidad del líquido, de poca importancia si el flujo es turbulento.

A estas se agregan, excepcionalmente, las siguientes:

- La fuerza de tensión superficial, consecuencia directa de la superficie libre.
  - Las fuerzas ocasionales debidas al movimiento del sedimento arrastrado.
- (Sotelo, 2002, p. 1).

## 1) Tipos de Flujos

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y con diferentes criterios.

### 1.1. Tiempo como criterio:

- Flujo permanente: La velocidad media  $V$  en una sección dada se mantiene constante en el tiempo o en un lapso especificado.

$$\frac{\delta V}{\delta t} = 0$$

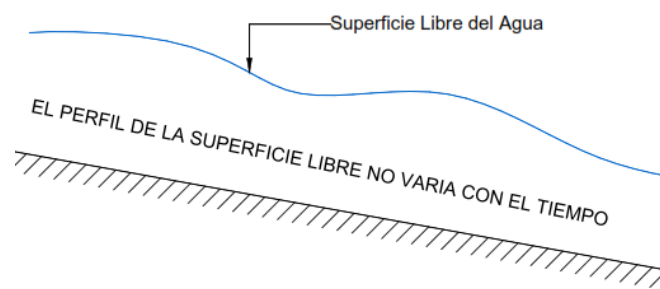


Figura N° 1-1. Flujo Permanente

Fuente: Tellez (2012, p. 24)

- Flujo no permanente: La velocidad media  $V$  en una sección dada no es constante en el tiempo o en un lapso especificado.

$$\frac{\delta V}{\delta t} \neq 0$$

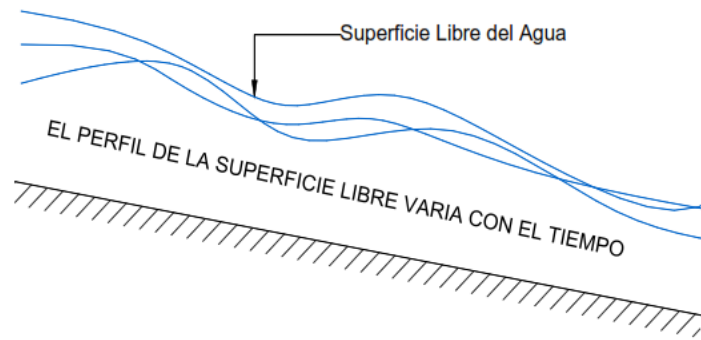


Figura N° 1-2. Flujo No Permanente

Fuente: Tellez (2012, p. 25)

El caso más común del flujo no permanente se presenta en los canales donde transita una onda de avenida, como en ríos.

#### 1.2. Espacio como criterio:

- Flujo uniforme: La velocidad media permanece constante en cualquier sección del canal. El área hidráulica y tirante son constantes, es decir, las condiciones de flujo uniforme se cumplen únicamente cuando el canal es prismático por lo tanto en canales artificiales.

$$\frac{\delta V}{\delta x} = 0$$

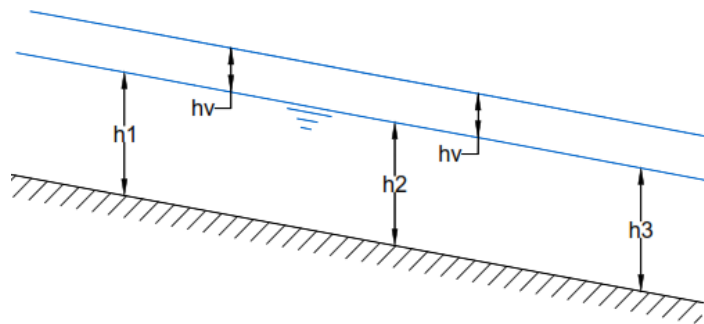


Figura N° 1-3. Flujo Uniforme

Fuente: Tellez (2012, p. 25)

Nota: El flujo uniforme puede ser permanente o no permanente. El flujo uniforme permanente es el flujo más sencillo de la hidráulica de canales, donde el tirante no cambia con el tiempo. El flujo no permanente necesitaría que la superficie libre oscile de un instante a

otro permaneciendo siempre paralela a la plantilla del canal, lo que es difícil de suceder.

Por lo antes descrito el flujo uniforme es de aplicación para canales rectos, largos, de sección, pendiente, geometría y rugosidad constantes.

- Flujo variado: La velocidad media no permanece constante en cualquier sección del canal mostrando características opuestas a las de flujo uniforme. La línea de energía, el perfil de la superficie y la plantilla tienen inclinaciones diferentes entre sí.

$$\frac{\delta V}{\delta s} \neq 0$$

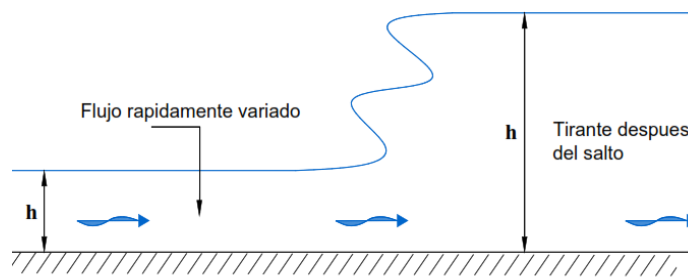


Figura N° 1-4. Flujo Variado

Fuente: Tellez (2012, p. 26)

Nota: A su vez el flujo variado se puede clasificar en: flujo gradualmente variado, flujo rápidamente variado y flujo espacialmente variado. En el gradualmente variado el tirante cambia en forma gradual a lo largo del canal. En el rápidamente variado la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias cortas, el flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local como son: el salto hidráulico y la caída hidráulica. En el espacialmente variado cambia además el gasto a lo largo del canal.

## 2) Estado del Flujo

El movimiento del agua en un canal se rige por la importancia de las fuerzas viscosa o de gravedad, respecto a la inercia. Según esto el flujo se divide en:

Por efecto de la viscosidad: El efecto de la viscosidad puede representarse mediante el número de Reynolds, definido por:

$$R_e = \frac{VR_h}{\vartheta}$$

Donde

- $V$  = velocidad media en la sección en m/s.
- $R_h$  = Radio hidráulico de la sección en m.
- $\vartheta$  = Viscosidad cinemática del agua en m/s<sup>2</sup>.

De lo anterior podemos clasificar el régimen de flujo según el efecto de la viscosidad en:

- Flujo laminar: Las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales. Las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o en líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes, es decir, cuando el número de Reynolds ( $R_e$ ) es:  $R_e \leq 500$ . El flujo laminar ocurre muy rara vez debido a la baja viscosidad cinemática del agua.

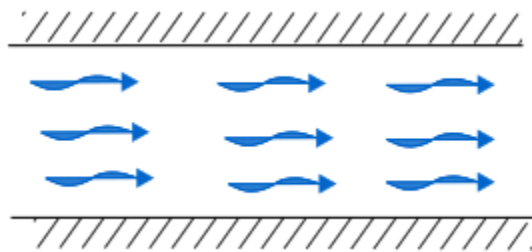


Figura N° 1-5. Flujo Laminar

Fuente: Tellez (2012, p. 27)

- Flujo de transición: Se presenta entre los estados de flujo laminar y turbulento, cuando  $500 \leq R_e \leq 12500$ .
- Flujo turbulento: Las fuerzas viscosas son débiles en relación con las inerciales, en este flujo las partículas de agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en un conjunto todavía

representan el movimiento hacia delante de la corriente entera, es decir, cuando  $R_e \geq 12500$ . (Tellez, 2012, p. 24 – 27)

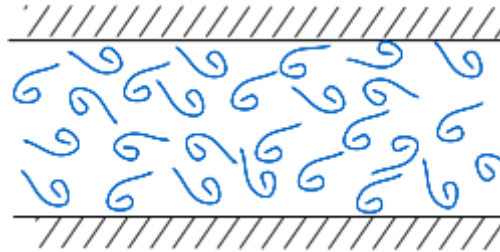


Figura N° 1-6. Flujo Turbulento

Fuente: Tellez (2012, p. 27)

## E. Diseño de Canales

### 1) Trazo de canales

Es necesario recolectar la siguiente información básica:

- Fotografías aéreas, imágenes satelitales, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.
- Planos topográficos y catastrales.
- Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

En el caso de no existir información topográfica básica se procede a levantar el relieve del canal, procediendo con los siguientes pasos:

- a) Reconocimiento del terreno.- Se recorre la zona, anotándose todos los detalles que influyen en la determinación de un eje probable de trazo, determinándose el punto inicial y el punto final (georreferenciados).
- b) Trazo preliminar.- Se procede a levantar la zona con una brigada topográfica, clavando en el terreno las estacas de la poligonal preliminar y luego el levantamiento con teodolito, posteriormente a este levantamiento se nivelará la poligonal y se hará el levantamiento de secciones transversales, estas secciones se harán de acuerdo a criterio, si es un terreno con una alta distorsión de relieve, la sección se hace a cada 5 m, si el

terreno no muestra muchas variaciones y es uniforme la sección es máximo a cada 20 m.

- c) Trazo definitivo.- Con los datos de (b) se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la escala del plano, la cual depende básicamente de la topografía de la zona y de la precisión que se desea:
- Terrenos con pendiente transversal mayor a 25%, se recomienda escala de 1:500.
  - Terrenos con pendiente transversal menor a 25%, se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000.

2) Radios mínimos en canales

Las siguientes tablas indican radios mínimos según el autor o la fuente:

Tabla N° 01 – Radio mínimo en función al caudal

<b>Capacidad del canal</b>	<b>Radio mínimo</b>
Hasta 10 m <sup>3</sup> /s	3° ancho de la base
De 10 a 14 m <sup>3</sup> /s	4° ancho de la base
De 14 a 17 m <sup>3</sup> /s	5° ancho de la base
De 17 a 20 m <sup>3</sup> /s	6° ancho de la base
De 20 m <sup>3</sup> /s a mayor	7° ancho de la base
Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior.	

Fuente: “International Institute For Land Reclamation and Improvement” ILRI, Principios y Aplicaciones del Drenaje, Tomo IV, Wageningen The Netherlands 1978.

Tabla N° 02 – Radio mínimo en canales abiertos para  $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$

Capacidad del canal	Radio mínimo
$20 \text{ m}^3/\text{s}$	100 m
$15 \text{ m}^3/\text{s}$	80 m
$10 \text{ m}^3/\text{s}$	60 m
$5 \text{ m}^3/\text{s}$	20 m
$1 \text{ m}^3/\text{s}$	10 m
$0.5 \text{ m}^3/\text{s}$	5 m

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N° 7 “Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales” Lima 1978.

### 3) Elementos de una curva

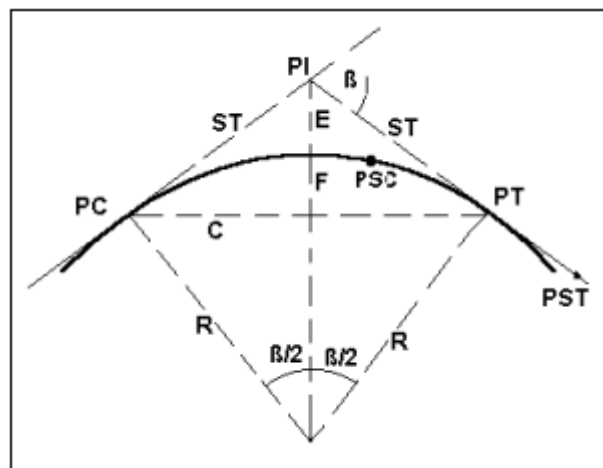


Figura N° 2-1. Elementos de una curva

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2010, p. 9)

Donde:

- A: Arco, es la longitud de curva medida en curvas de 20m
- C: Cuerda larga, es la cuerda que sub-tiende la curva desde PC o PT
- B: Angulo de deflexión, formado en el PI
- E: External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz
- F: Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.
- G: Grado, es el ángulo central



- LC: Longitud de curva que une PC con PT
- PC: Principio de una curva
- PI: Punto de inflexión
- PT: Punto de tangente
- PSC: Punto sobre curva
- PST: Punto sobre tangente
- R: Radio de la curva
- ST: Sub tangente, distancia del PC al PI

#### 4) Rasante de un Canal

Una vez definido el trazo del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazo, las escalas más usuales son de 1:1000 ó 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100 ó 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10. El procesamiento de la información y dibujo se puede efectuar empleando el software AUTOCAD CIVIL 3D (AUTOCAD clásico, AUTOCAD LAND, AUTOCAD MAP o AUTOCAD CIVIL).

Para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta:

- La rasante se debe trabajar sobre la base de una copia del perfil longitudinal del trazo
- Tener en cuenta los puntos de captación cuando se trate de un canal de riego y los puntos de confluencia si es un dren u obra de arte.
- La pendiente de la rasante de fondo, debe ser en lo posible igual a la pendiente natural promedio del terreno (optimizar el movimiento de tierras), cuando esta no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.
- Para definir la rasante del fondo se prueba con el caudal especificado y diferentes cajas hidráulicas, chequeando la velocidad obtenida en relación con el tipo de revestimiento a proyectar o si va ser en lecho natural, también se tiene la máxima eficiencia o mínima infiltración.
- El plano final del perfil longitudinal de un canal, debe presentar como mínimo la siguiente información:
  - Kilometraje.

- Cota de terreno.
- BMs (cada 500 ó 1000 m).
- Cota de rasante.
- Pendiente.
- Indicación de las deflexiones del trazo con los elementos de curva.
- Ubicación de las obras de arte.
- Sección o secciones hidráulicas del canal, indicando su kilometraje.
- Tipo de suelo.
- Cuadro con elementos geométricos e hidráulicos del diseño.

#### 5) Sección Típica de un Canal

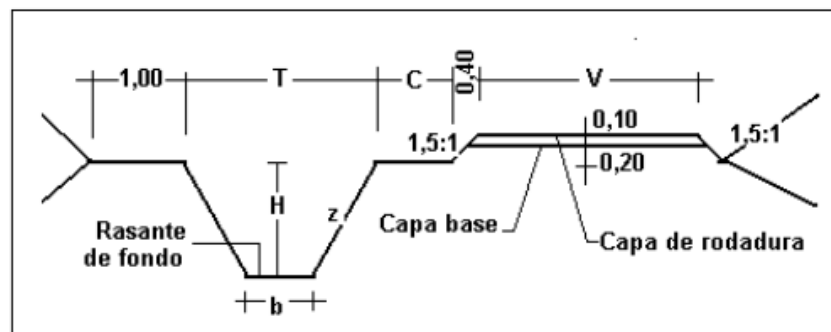


Figura N° 2-2. Elementos de una curva

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2010, p. 10)

Donde:

T = Ancho superior del canal

b = Plantilla

z = Valor horizontal de la inclinación del talud

C = Berma del camino, puede ser: 0,5; 0,75; 1,00 m., según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

V = Ancho del camino de vigilancia, puede ser: 3; 4 y 6 m., según el canal sea de tercer, segundo o primer orden respectivamente.

H = Altura de caja o profundidad de rasante del canal.

(Autoridad Nacional del Agua, 2010, p. 7 – 11).

## F. Secciones Hidráulicas

Se debe tener en cuenta ciertos factores, tales como: tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, etc.

La ecuación más utilizada es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

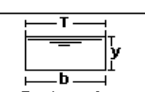

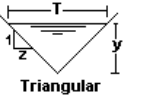
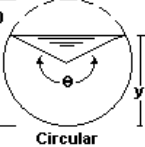

n = Rugosidad

A = Área (m<sup>2</sup>)

R = Radio hidráulico = Área de la sección húmeda / Perímetro húmedo.

Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes: (Autoridad Nacional del Agua, 2010, p. 12 – 14).

Tabla N° 3 - Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	(b+zy)y	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b + 2zy
 Triangular	zy <sup>2</sup>	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zy
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico. Lima, 2010.

## G. Rugosidad

Esta depende del cauce y el talud, dado a las paredes laterales del mismo, vegetación, irregularidad y trazado del canal, radio hidráulico y obstrucciones en el canal.

En canales proyectados con revestimiento, la rugosidad es función del material usado, que puede ser de concreto, geomanta, tubería PVC ó HDP ó metálica, o si van a trabajar a presión atmosférica o presurizados. La siguiente tabla nos da valores de “n” estimados, estos valores pueden ser refutados con investigaciones y manuales, sin embargo no dejan de ser una referencia para el diseño: (Autoridad Nacional del Agua, 2010, p. 13).

Tabla N° 4 – Valores de rugosidad “n” de Manning

<b>n</b>	<b>Superficie</b>
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico. Lima, 2010.

### 1. Tipos de Rugosidades.

La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso.

- Rugosidad superficial: Se genera por la presencia de material granular, el cual produce un retraso en el flujo. Dependiendo si el material es fino o grueso el efecto retardador será menor o mayor respectivamente.
- Vegetación: Se le considera como una clase de rugosidad superficial donde se debe tener en cuenta que reduce y retarda la capacidad del flujo en el canal, esto depende de factores como la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación.

- Irregularidad del canal: se tienen las irregularidades en el perímetro mojado y en la sección transversal en su tamaño y forma a lo largo de todo el canal.
- Alineamiento del canal: para este caso el valor de n (coeficiente de rugosidad) depende directamente de si el canal tiene curvas con radios suaves donde el valor de n será bajo o curvas con radios fuertes donde se aumentará el valor.
- Sedimentación y Socavación: para el caso de la sedimentación dependerá del tipo de material depositado, donde quizá se pase de un canal muy irregular a uno relativamente uniforme donde se disminuirá n y para la socavación se tendría el efecto contrario.
- Obstrucción: se pueden presentar obstrucciones de diferentes naturalezas, como troncos, pilas de puentes, donde su tamaño, forma, número y distribución podrían incrementar el valor de n.
- Tamaño y forma del canal: en general el factor que afectaría el valor de n es el radio hidráulico donde según la condición del canal podría aumentar o disminuir.
- Nivel y caudal: en la mayoría de las corrientes el valor de n disminuye cuando aumenta el nivel y el caudal.
- Cambio Estacional: dependiendo en la estación en la que se encuentre las plantas acuáticas ya sea en la de crecimiento o en la inactiva en valor de n puede aumentar o disminuir respectivamente.
- Material de Suspensión y carga de lecho: estén o no en movimiento, consumen energía y perderá altura e incrementara la rugosidad aparente del canal. (Gutiérrez, 2009, p. 24 – 26).

## 2. Formula de Manning

A partir de su relación estrecha con el coeficiente C de Chèzy el n de Manning puede expresarse como sigue:

$$n = \phi \left( \frac{R}{K_s} \right) K_s^{1/6}$$

Donde

$$\phi \left( \frac{R}{K_s} \right) = \frac{(R/K_s)}{21.9 \log(12.2 R/K_s)}$$

Los cálculos indican que, en un amplio rango de  $R/K_s$ , la variación de  $\phi\left(\frac{R}{K_s}\right)$  es pequeña.

Como una aproximación,  $\phi\left(\frac{R}{K_s}\right)$  se puede asumir constante e igual a un valor medio. Sobre la base de observaciones hechas en Suiza, Strickler concluyó que el  $n$  de Manning varía con la raíz sexta de la altura de la rugosidad  $K_s$ . La altura de rugosidad utilizada por Strickler es el tamaño medio de la malla del material, es decir, el  $D_{50}$ . Así pues, un cambio de mil en la medida lineal de la altura de la rugosidad produce aproximadamente un cambio de tres en  $n$ .

La fórmula deducida por Strickler es:

$$n = 0.047 D_{50}^{1/6}$$

Con  $D$  expresado en [m] y  $n$  en [s / m<sup>1/3</sup>].

Existe también un sinnúmero de otras fórmulas relacionando el valor de  $n$  con un cierto diámetro característico del material como por ejemplo  $D_{65}$   $D_{80}$   $D_{90}$ , entre otros.

Posada, 1998, reporta una expresión del tipo siguiente para un conjunto de cauces naturales de los departamentos de Antioquia y Risaralda.

$$n = 0.0487 D_{50}^{1/6}$$

En la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

La presencia del valor “ $n$ ” tiene la tarea de “soportar” los efectos de no uniformidad del flujo entre regiones contiguas de la sección transversal del canal sobre todo cuando no se trata de secciones regulares definidas como en el caso de la generalidad de los canales naturales con geometría completamente irregular, para no cargar la dependencia sobre los parámetros geométricos como son el radio hidráulico y la pendiente longitudinal local del canal. (Cataño, 2000, p. 135 – 137)

## H. Talud

La inclinación de las paredes laterales de un canal, depende de varios factores pero en especial de la clase de terreno donde están alojados, la U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda un talud único de 1,5:1 para sus canales, a continuación se presenta un cuadro de taludes apropiados para distintos tipos de material:

(Autoridad Nacional del Agua, 2010, p. 14 – 15).

Tabla N° 5 - Taludes apropiados para distintos tipos de material

MATERIAL	TALUD (h : v)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0.25 : 1
Arcilla compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0.5 : 1 hasta 1 : 1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1 : 1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5 : 1
Tierra arenosa suelta	2 : 1
Greda arenosa o arcilla porosa	3 : 1

Fuente: Aguirre Pe, Julian, “Hidráulica de canales”, Dentro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras – CIDIAT, Merida, Venezuela, 1974

Tabla N° 6 - Pendientes laterales en canales según tipo de suelo

MATERIAL	CANALES POCO PROFUNDOS	CANALES PROFUNDOS
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 : 1
Arcillas compactas o conglomerados	0.5 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1.5 : 1
Limos arenosos	1.5 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1
Concreto	1 : 1	1.5 : 1

Fuente: Aguirre Pe, Julian, “Hidráulica de canales”, Dentro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras – CIDIAT, Merida, Venezuela, 1974

## I. Velocidades Máxima y Mínima Permisible

La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación, este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud, cuando el agua fluye sin limo este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas, en canales de tierra. El valor de 0.8 m/seg se considera como la velocidad apropiada que no permite sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal.

La velocidad máxima permisible, algo bastante complejo y generalmente se estima empleando la experiencia local o el juicio del ingeniero; las siguientes tablas nos dan valores sugeridos.

Tabla N° - 7. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación

MATERIAL DE LA CAJA DEL CANAL	“n” Manning	Velocidad (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no coloidal	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.60
Franco consistente normal	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado coloidal	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978



Para velocidades máximas, en general, los canales viejos soportan mayores velocidades que los nuevos; además un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin erosión, que otros menos profundos.

Tabla N° - 8 -. Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.

RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE (m)				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

La Tabla N° 8, da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, recomienda que para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de 2.5 – 3.0 m/seg. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante. (Autoridad Nacional del Agua, 2010, p. 15 – 16).

## J. Fenómenos Hidráulicos

En los canales abiertos es muy común apreciar cambios en el estado del flujo. Dentro de este tipo encontramos:

- **Caída Hidráulica:**

Si el movimiento de aproximación a la caída es supercrítico. El aspecto dominante es el diseño hidráulico de la rápida sometido a altas velocidades.

La forma de la lámina vertiente puede interpretarse mediante el principio de la trayectoria de un chorro. De acuerdo con este principio se supone

que la componente horizontal de la velocidad de flujo es constante y que la única fuerza que actúa sobre el flujo es la gravedad.

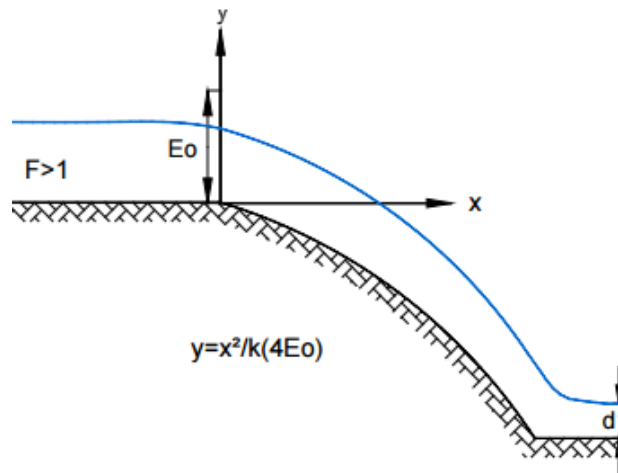


Figura N° 3-1. Caída Hidráulica

Fuente: Tellez (2012, p. 32)

La ecuación de la trayectoria se obtiene aplicando las ecuaciones paramétricas de tiro parabólico con coordenadas (x,y) en el instante t:

$$x = V_{ox} t$$

Sustituyendo la ecuación

$$y = x \frac{V_{oy}}{V_{ox}} - \frac{g x^2}{2 V_{ox}^2}$$

Donde  $V_o$  es la velocidad en el punto donde  $x = 0$ . Mediante la ecuación se puede obtenerse la trayectoria parabólica de la lámina vertiente.

Si la pendiente del canal es muy pequeña esta ecuación puede resumirse a:

$$y = - \frac{g x^2}{2 V_x^2}$$

- Salto Hidráulico:

El salto hidráulico se define como la elevación brusca de la superficie líquida, cuando el escurrimiento pasa de régimen supercrítico al régimen subcrítico. Representa un fenómeno con desconocimiento de la pérdida de energía causada por éste, por lo que el principio de la conservación de la energía no resulta valido para su estudio, sin embargo, la ley del

impulso de la cantidad de movimiento permite realizar el análisis de este fenómeno.

El principio de la 2da ley de Newton aplicado a canales es representado matemáticamente por:

$$M = \frac{\beta Q^2}{gA} + y_G A \cos \theta$$

Considerando un canal de pendiente pequeña:

$$M = \frac{\beta Q^2}{gA} + y_G A$$

En la última ecuación representa a M como una función del tirante; graficándola obtenemos las figuras:

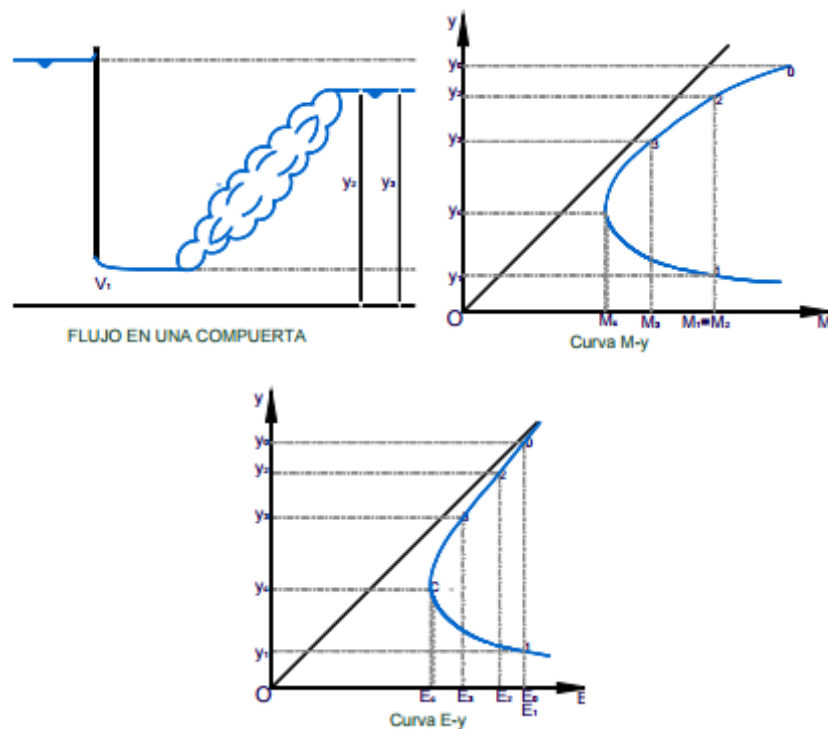


Figura N° 3-2. Fuerza Específica

Fuente: Tellez (2012, p. 34)

En estas figuras presentan una rama inferior asintótica al eje horizontal, la rama superior se incrementa indefinidamente para el valor M.

Aplicando la 2da ley de Newton al salto hidráulico en una sección rectangular se obtiene:

- Para régimen supercrítico conocido

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

Donde:

$y_2$  Tirante conjugado mayor, en m.

$y_1$  Tirante conjugado menor, en m.

$V_1$  Velocidad del agua en la sección 1, en m/s

$V_2$  Velocidad del agua en la sección 2, en m/s

$F_1$  Número de froude en la sección 1, adimensional.

$F_2$  Número de froude en la sección 2, adimensional.

Define la relación del tirante aguas abajo  $y_2$ , con el tirante aguas arriba  $y_1$  como función del número de Froude del régimen  $F_1$ . (Tellez, 2012, p. 32 – 35).

## **K. Canal de Procesos Morfológicos**

Nuestro esquema del canal experimental estará formado por una cámara de carga de estructura rectangular, un canal metálico con lunas de 3 metros de largo que descarga en un pozo disipador metálico para seguir a un vertedero, luego al sistema de circulación mediante una bomba.

Está conformada por:

- Cámara de carga de estructura rectangular.
- Canal.
- Pozo disipador.
- Vertedero.
- Sistema de Circulación.



Figura N° 4-1. Canal de Procesos Morfológicos  
Fuente: Universidad Privada Antenor Orrego (2016)



Figura N° 4-2. Bomba de 1 Hp.  
Fuente: Universidad Privada Antenor Orrego (2016)



Figura N° 4-3. Pozo Disipador  
Fuente: Universidad Privada Antenor Orrego (2016)



Figura N° 4-4. Vertedero

Fuente: Universidad Privada Antenor Orrego (2016)

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Tirante**

Según López (2007) afirma: “Es la profundidad que se obtiene al aplicar la ecuación de Manning en la solución de canales; de manera similar se obtiene la velocidad normal” (p. 25).

- **Pendiente Normal**

Según López (2007) afirma: “Conocidos el caudal  $Q$ , la rugosidad  $n$  y la profundidad o tirante normal  $y_n$ , se obtiene la pendiente normal con base en la ecuación de Manning” (p. 25).

- **Área Hidráulica Óptima**

Según López (2007) afirma: “Es el área hidráulica con el menor perímetro mojado que conduce el caudal máximo” (p. 25).

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material**

##### **3.1.1. Muestra**

Muestreo no Probabilístico: Intencional u Opinático.

Las superficies rugosas de gras sintético, canto rodado, fondo ondulado y gravilla.

##### **3.1.2. Unidad de Análisis**

La rugosidad de una superficie.

#### **3.2. Método**

##### **3.2.1. Nivel de Investigación**

Investigación Exploratoria, porque se efectúa sobre el estudio de comportamientos hidráulicos de superficies rugosas no estudiadas, por lo que sus resultados constituyen una visión detallada de dicha información.

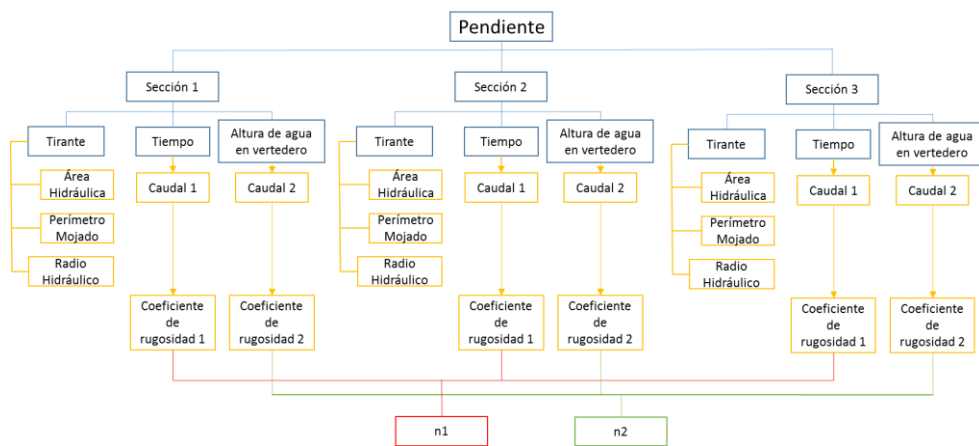
##### **3.2.2. Diseño de Investigación**

El diseño de esta investigación es de campo, al consistir en la recolección de datos directamente de la realidad replicada en laboratorio donde ocurren los hechos, sin manipulación o control de variable alguna.

La metodología que se ha tomado para validar la hipótesis de esta investigación es la siguiente:

- Elaboración de 3 superficies rugosas para someterlas a ensayos de laboratorio a comparación de la superficie de gravilla.
- Hacer uso del canal de procesos morfológicos del laboratorio de Hidráulica de la UPAO, y colocar cada superficie en 3 diferentes pendientes y correr el caudal de flujo sobre ellas.

- Se mide el tirante en 3 secciones de la superficie para obtener el área hidráulica, el perímetro mojado y el radio hidráulico.
- Se usaron dos métodos para obtener el caudal que transcurre: método del flotador (midiendo el tiempo de una esfera por la superficie) y método de la fórmula del vertedero triangular.
- Se calculó el coeficiente de rugosidad para cada caudal, obteniendo un valor promediado de los valores más cercanos en cada pendiente, y un rango de valores entre cada método de cálculo de caudal.



Esquema del procedimiento hidráulico del trabajo experimental

- Con las rugosidades obtenidas, se usaron de dato para un modelamiento en H-Canales y en el Hec-Ras para comparar los resultados experimentales con los de un software de diseño de canales.
- Finalmente, se realiza el análisis comparativo de las características hidráulicas de las diferentes superficies rugosas en comparación de la superficie de tierra.

El comportamiento hidráulico de cada caudal de flujo en las diferentes superficies rugosas está dada básicamente por el tipo de material y la pendiente dada.

### 3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

**Variable independiente (V1):** Rugosidad de las superficies.

**Variable Dependiente (V2):** Comportamiento hidráulico del caudal de flujo.



Tabla N<sup>a</sup> 9. Variables de estudio y operacionalización

VARIABLE	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACION
Rugosidad de la superficie	Comportamiento rugoso de la superficie	Cualitativa	Guía de Observación
Comportamiento hidráulico del caudal de flujo.	Caudal Pendiente Tirante Coeficiente de Manning	m <sup>3</sup> /s Ángulo de inclinación m Adimensional	Guía de Observación, fórmulas matemáticas y softwares de diseño

### 3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

#### A) DISEÑO Y ELABORACION DE LAS SUPERFICIES

##### A.1) MATERIAL PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL

Las superficies rugosas alternativas a la gravilla fueron diseñadas con los siguientes materiales: Calamina (superficie de fondo ondulado), grass sintético y canto rodado.



Figura N<sup>o</sup> 5-1. Canto Rodado



Figura N<sup>o</sup> 5-2. Calamina



Figura N° 5-3. Grass Sintético

#### A.2) PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS SUPERFICIES

Se procedió a unir los materiales, señalados en el punto anterior, con planchas de policarbonato como base con las siguientes medidas 140 x 40 cm.



Figura N° 5-4. Superficie de Policarbonato



Figura N° 5-5. Medidas y corte a la calamina



Figura N° 5-5. Medidas y corte al grass sintético

Para la unión de la calamina y el grass con el policarbonato se empernó como vemos en las siguientes fotografías:

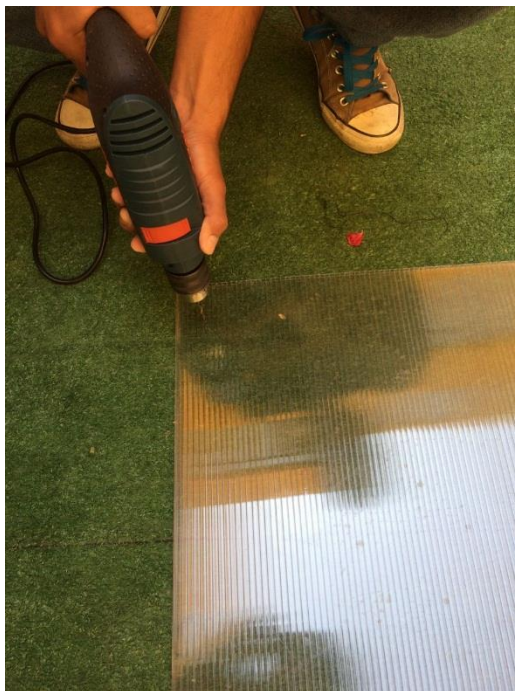


Figura N° 5-6. Perforación del policarbonato

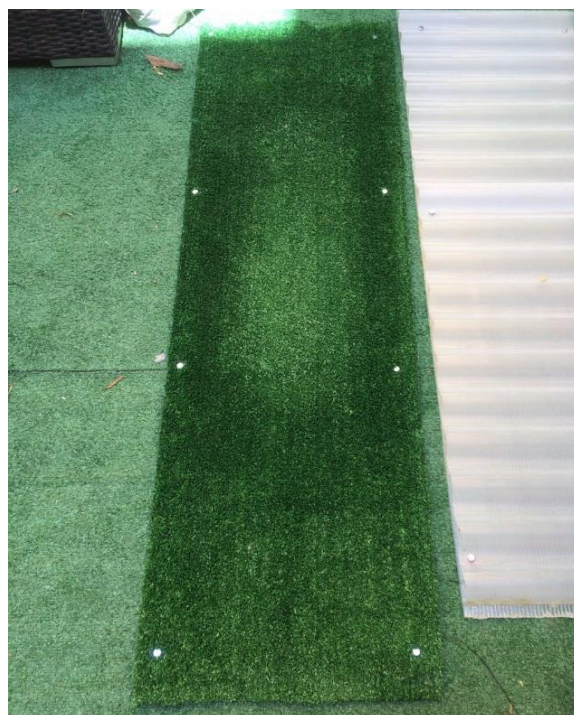


Figura N° 5-7. Empernado de la superficie de grass sintético



Figura N° 5-8. Empernado de la superficie de fondo ondulado

En el caso del canto rodado se procedió a pegar con soldimix al policarbonato:



Figura N° 5-9. Pegado del canto rodado



Figura N° 5-10. Superficie de Canto rodado

## B) ENSAYO EXPERIMENTAL EN EL CANAL

### B.1) Superficie de Grass sintético

En las pruebas de laboratorio del grass sintético se trabajó en 3 pendientes de 0.0005 (mínima), 0.0214 y 0.0286.

Se midió el tirante de la lámina de agua en 3 secciones (a 0.30 m, 0.80 m y 1.37 m).

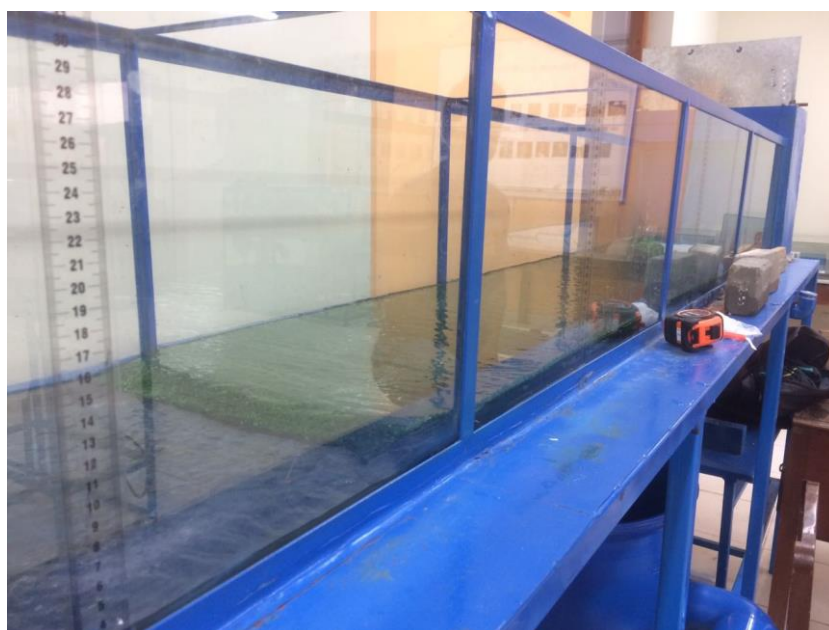


Figura N° 5-11. Colocación de la superficie de pendiente mínima



Figura N° 5-12. Medición del tirante en pendiente mínima

Para el cálculo del caudal por el Método del Flotador, se dejó que una esfera de tecnopor recorra toda la superficie, midiendo en ese momento: el Tiempo (con un cronómetro) y la distancia recorrida.

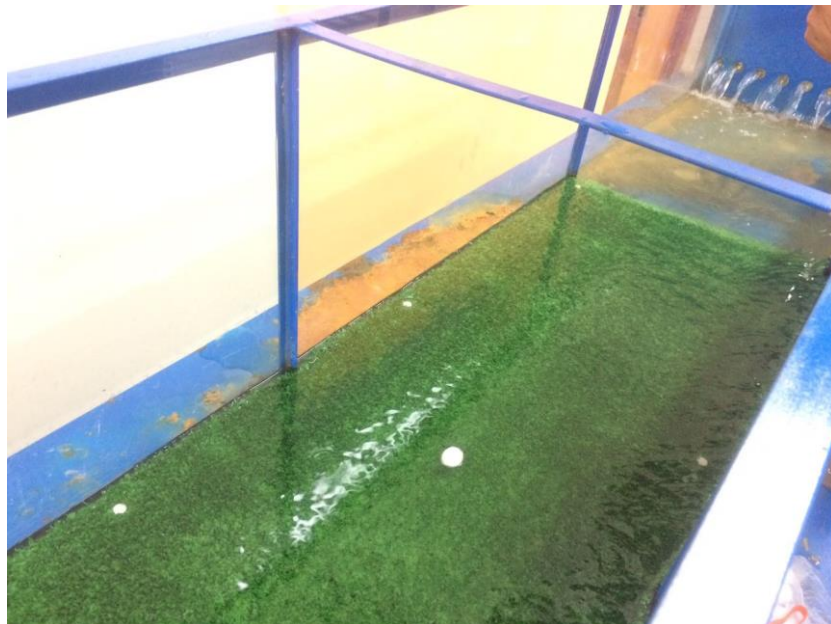


Figura N° 5-13. Prueba del flotador en la superficie de grass sintético

Para calcular el caudal por la fórmula del Vertedero Triangular se tomó el valor de la altura del agua que atraviesa el vertedero.



Figura N° 5-14. Vertedero triangular



Figura N° 5-15. Nivel de agua del Vertedero



Figura N° 5-16. Superficie de grass sintético en pendiente de 0.0214





Figura N° 5-17. Superficie de grass sintético en pendiente de 0.0286

#### B.2) Superficie de fondo ondulado

En las pruebas de laboratorio del fondo ondulado se trabajó en 3 pendientes de 0.0005 (mínima), 0.0214 y 0.0286.

Se realizaron los mismos ensayos que en la superficie anterior para la recolección de datos: el tirante, el tiempo de la prueba del flotador y la altura del vertedero triangular, en lo único que se diferenció este ensayo fue la medida del tirante en el cual se tomó la altura de la base y la cresta de la calamina.



Figura N° 5-18. Inicios de pruebas en la superficie de pendiente mínima

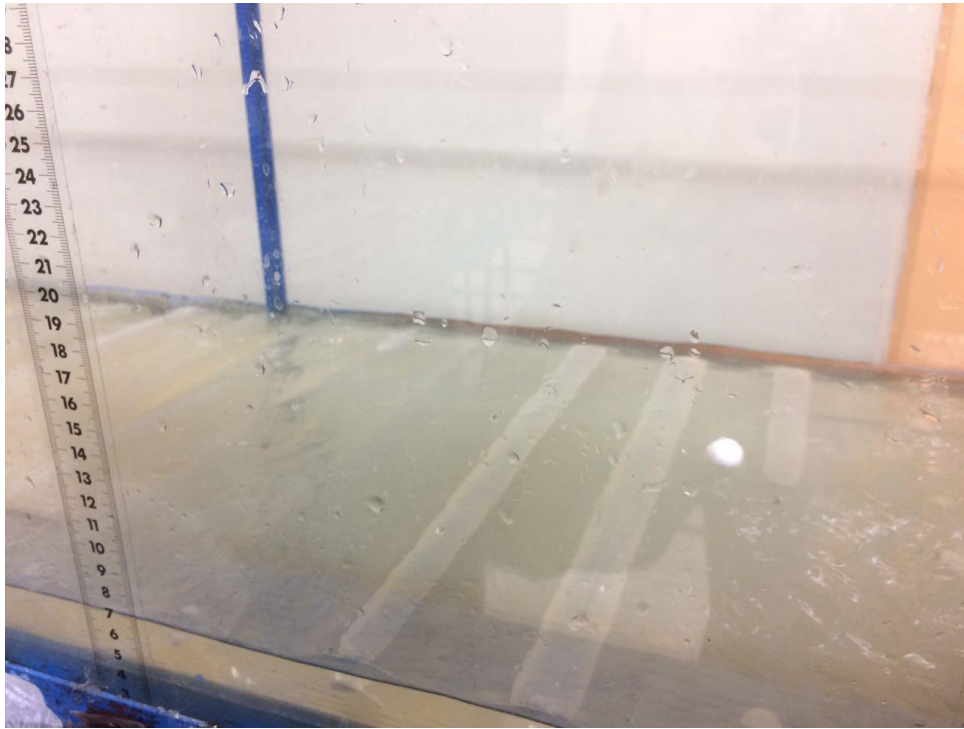


Figura N° 5-19. Cronometrando la esfera en la superficie de fondo ondulado

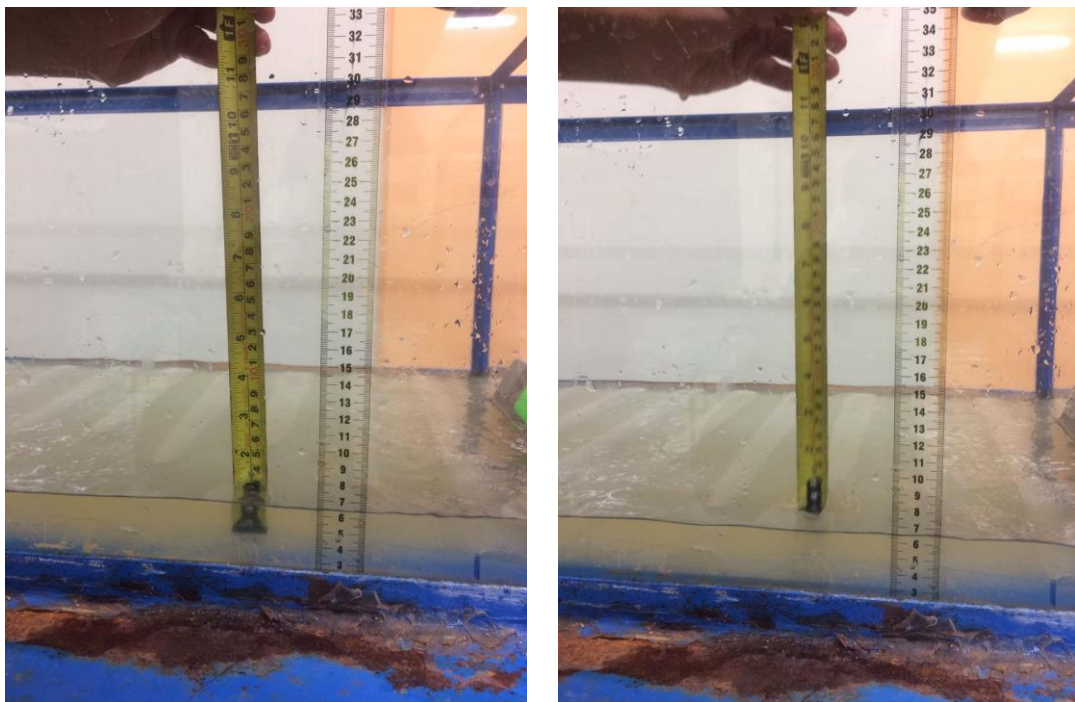


Figura N° 5-20. Midiendo el tirante de la base y la cresta de la superficie ondulada



Figura N° 5-21. Vertedero triangular



Figura N° 5-22. Nivel de agua del Vertedero



Figura N° 5-23. Superficie de fondo ondulado en pendiente de 0.0214

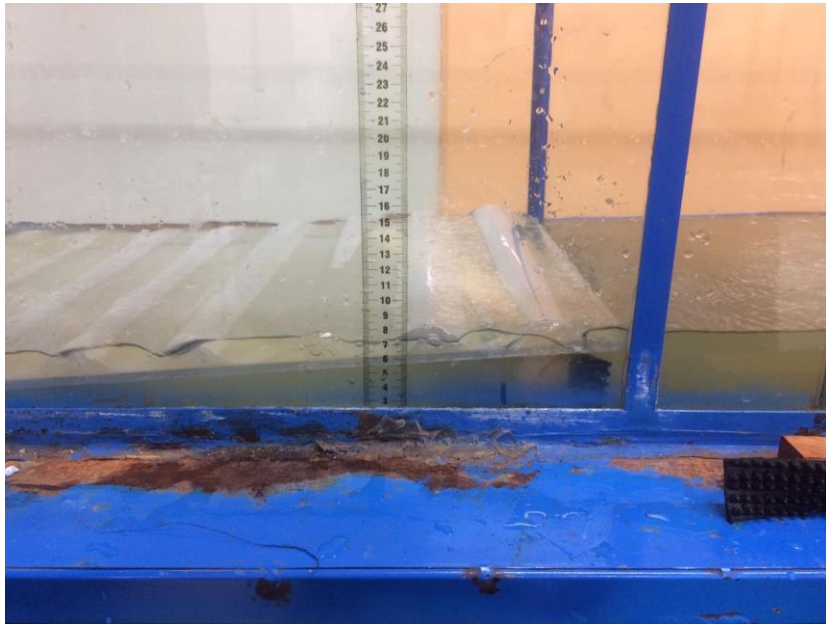


Figura N° 5-24. Superficie de fondo ondulado en pendiente de 0.0286

### B.3) Superficie de canto rodado

En las pruebas de laboratorio del canto rodado se trabajó en las pendientes de 0.0005 (mínima), 0.0214 y 0.0286.

Se realizaron los mismos ensayos que en las superficies anteriores para la recolección de datos: el tirante, el tiempo de la prueba del flotador y la altura del vertedero triangular.



Figura N° 5-25. Colocación de la superficie de canto rodado

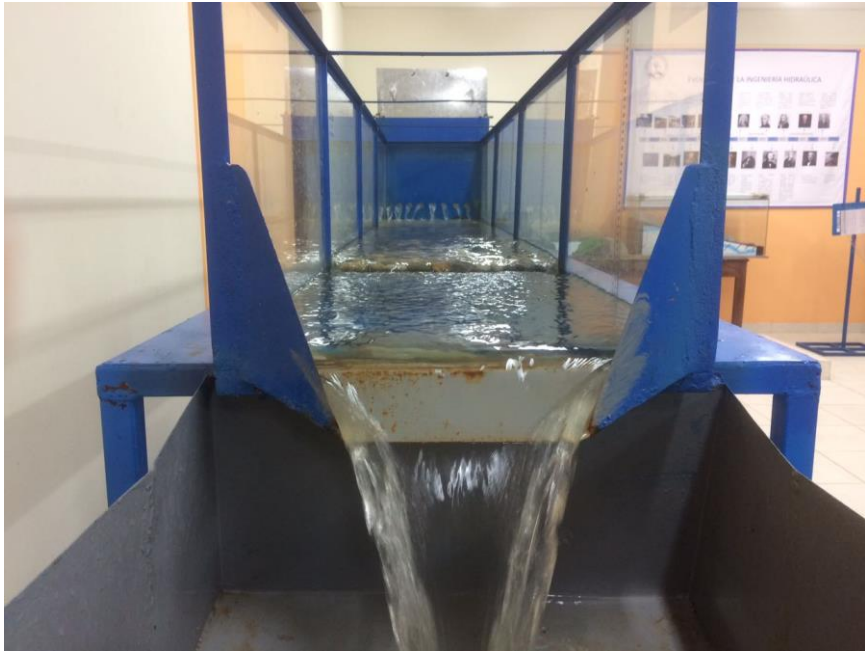


Figura N° 5-26. Superficie de canto rodado



Figura N° 5-27. Cronometrando en la superficie de canto rodado

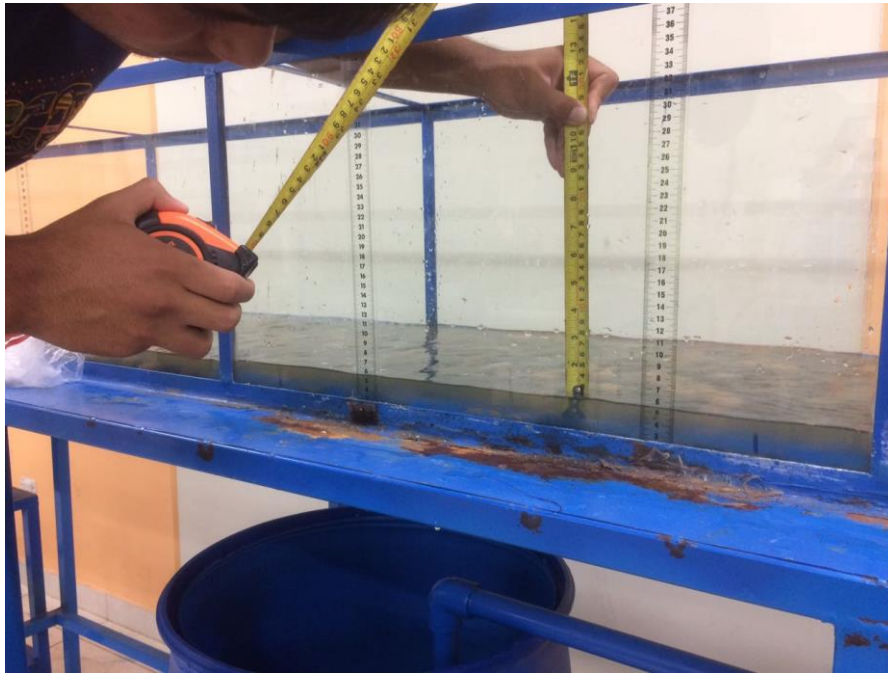


Figura N° 5-28. Midiendo el tirante en la superficie de canto rodado



Figura N° 5-29. Vertedero Triangular



Figura N° 5-30. Nivel de agua del Vertedero

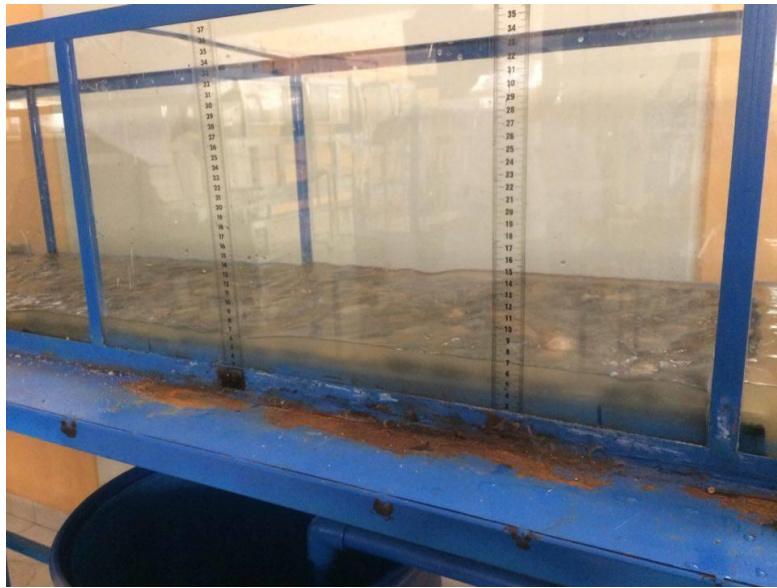


Figura N° 5-31. Superficie de canto rodado en pendiente de 0.0214



Figura N° 5-32. Superficie de canto rodado en pendiente de 0.0286

#### B.4) Superficie de Gravilla

Con la superficie de Gravilla tratamos de recrear una superficie típica de tierra (que es una de las superficies más comunes que se dan en los canales) usando gravilla retenida en el tamiz No. 8.

Al igual que las anteriores superficies, a esta, se le sometió a pruebas con diferentes pendientes de 0.0005, 0.0214 y 0.0286, para la recolección de datos: el tirante, el tiempo de la prueba del flotador y la altura del vertedero triangular



Figura N° 5-33. Superficie de Gravilla de pendiente mínima



Figura N° 5-34. Pruebas de flotador en la superficie de Gravilla





Figura N° 5-35. Medición del Tirante

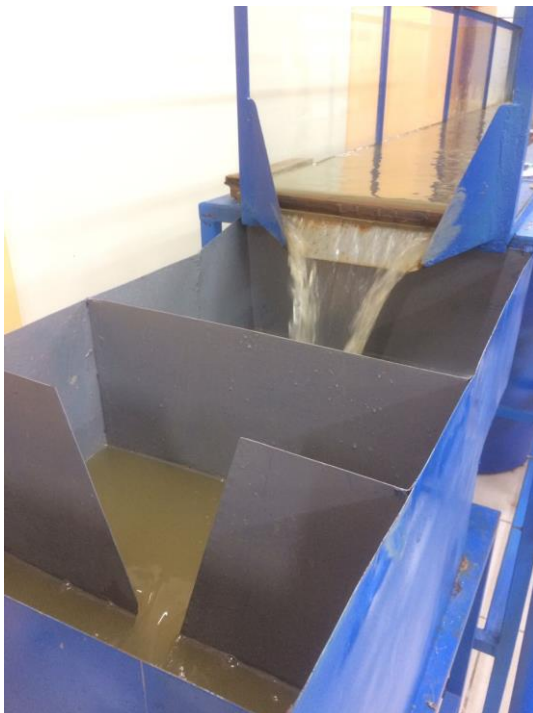


Figura N° 5-36. Vertedero Triangular



Figura N° 5-37. Nivel de agua del Vertedero



Figura N° 5-38. Superficie de Gravilla en pendiente 0.0214

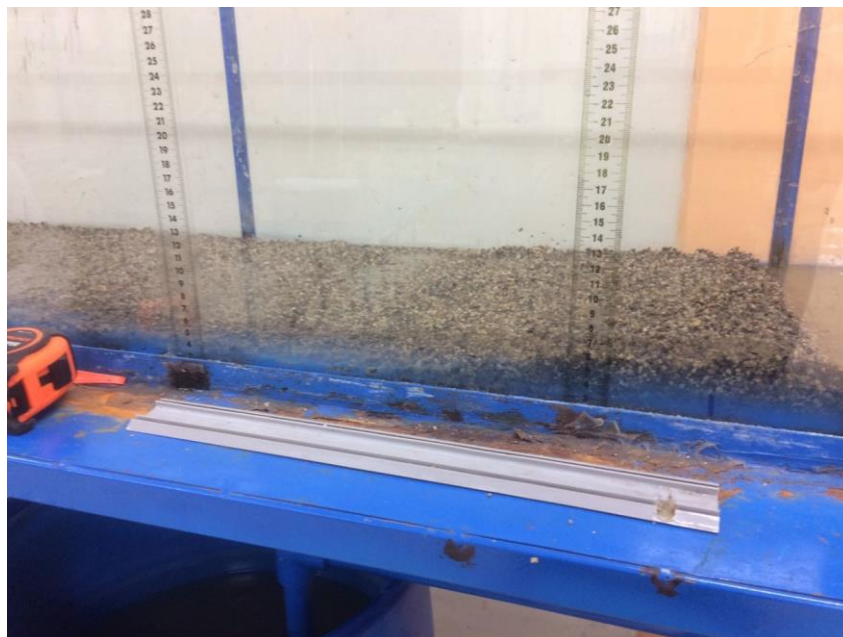


Figura N° 5-39. Superficie de Gravilla con pendiente de 0.0286

### C) TABLAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO

En el presente proyecto de investigación se utilizó como instrumento un formato donde se registró los datos de cada una de las superficies, facilitando su análisis y proceso, (anexo A).

**Tabla N° 10.** Recolección de datos de la superficie de gras sintético

Fecha: 27/10/2016  
 Hora: 11:00 AM  
 Fondo: Gras Sintético  
 Longitud: 1.4 m  
 Ancho: 0.4 m  
 Espesor Promedio: 0.7 cm

S1= 0.0005

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.035	0.032	0.024
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	4.96
	t2=	4.92
	t3=	4.98
	t4=	4.99
	t5=	5.01
	t6=	5.14

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.105
-------------------------------------	----	-------

S2= 0.0214

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.022	0.015	0.014
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	4.92
	t2=	4.16
	t3=	4.91
	t4=	4.56
	t5=	4.61
	t6=	4.48

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

S3= 0.0286

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.016	0.016	0.015
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	4.82
	t2=	4.48
	t3=	5.00
	t4=	4.60
	t5=	4.41
	t6=	4.52

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.105
-------------------------------------	----	-------

**Tabla N° 11.** Recolección de datos de la superficie de canto rodado

Fecha: 28/10/2016  
 Hora: 10:00 AM  
 Fondo: Canto Rodado  
 Longitud: 1.40 m  
 Ancho: 0.40 m  
 Espesor Promedio: 2 cm

S1= 0.0005

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.021	0.021	0.021
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	5.06
	t2=	5.11
	t3=	5.30
	t4=	4.96
	t5=	5.33
	t6=	5.15

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.105
-------------------------------------	----	-------

S2= 0.0214

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.015	0.010	0.010
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	6.23
	t2=	5.37
	t3=	6.54
	t4=	6.30
	t5=	5.43
	t6=	5.56

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

S3= 0.0286

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.007	0.008	0.008
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	7.27
	t2=	6.48
	t3=	7.83
	t4=	7.16
	t5=	6.32
	t6=	6.09

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

**Tabla N° 12.** Recolección de datos de la superficie de forma ondulada

Fecha: 28/10/2016  
 Hora: 11:00 AM  
 Fondo: Forma ondulada  
 Longitud: 1.40 m  
 Ancho: 0.40 m  
 Espesor Promedio: 1.4 cm

S1= 0.0005

	Sec1 (cresta)	Sec2 (cresta)	Sec3 (cresta)	Sec4 (fondo)	Sec5 (fondo)	Sec6 (fondo)
Y	0.028	0.016	0.016	0.042	0.031	0.033
dh	0.3	0.825	1.29	0.26	0.785	1.25

Velocidad	d=	1.40
	t1=	6.11
	t2=	6.40
	t3=	6.10
	t4=	6.26
	t5=	6.35
	t6=	6.19

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.107
-------------------------------------	----	-------

S2= 0.0214

	Sec1 (cresta)	Sec2 (cresta)	Sec3 (cresta)	Sec4 (fondo)	Sec5 (fondo)	Sec6 (fondo)
Y	0.016	0.016	0.009	0.028	0.027	0.023
dh	0.3	0.825	1.29	0.26	0.785	1.25

Velocidad	d=	1.40
	t1=	5.41
	t2=	4.93
	t3=	5.60
	t4=	5.40
	t5=	4.74
	t6=	5.21

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.107
-------------------------------------	----	-------

S3= 0.0286

	Sec1 (cresta)	Sec2 (cresta)	Sec3 (cresta)	Sec4 (fondo)	Sec5 (fondo)	Sec6 (fondo)
Y	0.013	0.014	0.016	0.028	0.027	0.033
dh	0.3	0.825	1.29	0.26	0.785	1.25

Velocidad	d=	1.40
	t1=	5.40
	t2=	5.37
	t3=	5.08
	t4=	6.03
	t5=	5.79
	t6=	5.45

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.107
-------------------------------------	----	-------

**Tabla N° 13.** Recolección de datos de la superficie de gravilla

Fecha: 11/11/2016  
 Hora: 12:45 PM  
 Fondo: Gravilla  
 Longitud: 1.40 m  
 Ancho: 0.40 m  
 Espesor Promedio: 1.3 cm

S1= 0.0005

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.025	0.026	0.024
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	6.24
	t2=	6.37
	t3=	6.20
	t4=	6.00
	t5=	5.19
	t6=	6.02

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

S2= 0.0214

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.015	0.024	0.03
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	4.15
	t2=	4.25
	t3=	4.15
	t4=	4.02
	t5=	4.15
	t6=	4.19

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

S3= 0.0286

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y	0.014	0.025	0.028
dh	0.3	0.8	1.37

Velocidad	d=	1.40
	t1=	4.02
	t2=	4.16
	t3=	4.2
	t4=	4.15
	t5=	3.85
	t6=	3.86

Caudal metodo del vertedero triang.	h=	0.106
-------------------------------------	----	-------

### 3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos

#### A) Proceso Matemático de las variables por medio de Microsoft Excel

Se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft para calcular cada uno de los coeficientes de rugosidad de Manning de cada uno de los fondos.

**Tabla N° 14.** Hoja de cálculo Excel, fondo gras sintético

Material	S	Sección	b	y	A	P	R
Grass Sintético	0.0005	Sec1	0.40	0.0350	0.0140	0.4700	0.0298
		Sec2	0.40	0.0320	0.0128	0.4640	0.0276
		Sec3	0.40	0.0240	0.0096	0.4480	0.0214
	0.0214	Sec1	0.40	0.0220	0.0088	0.4440	0.0198
		Sec2	0.40	0.0150	0.0060	0.4300	0.0140
		Sec3	0.40	0.0140	0.0056	0.4280	0.0131
	0.0286	Sec1	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec2	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec3	0.40	0.0150	0.0060	0.4300	0.0140

Cálculo de caudal por Método del vertedero triangular								
Material	S	Sección	h	α	V	Q	n	n seleccionado
Grass Sintético	0.0005	Sec1	0.105	32.28	0.1612	0.0023	0.0133	0.0125
		Sec2	0.105	32.28	0.1763	0.0023	0.0116	
		Sec3	0.105	32.28	0.2351	0.0023	0.0073	
	0.0214	Sec1	0.106	32.28	0.2626	0.0023	0.0408	0.0208
		Sec2	0.106	32.28	0.3852	0.0023	0.0220	
		Sec3	0.106	32.28	0.4127	0.0023	0.0197	
	0.0286	Sec1	0.105	32.28	0.3527	0.0023	0.0289	0.0280
		Sec2	0.105	32.28	0.3527	0.0023	0.0289	
		Sec3	0.105	32.28	0.3762	0.0023	0.0261	
Cálculo de caudal por método del flotador								
Material	S	Sección	d	tp	V	Q	n	n seleccionado
Grass Sintético	0.0005	Sec1	1.40	5.00	0.2800	0.0039	0.0077	0.0075
		Sec2	1.40	5.00	0.2800	0.0036	0.0073	
		Sec3	1.40	5.00	0.2800	0.0027	0.0062	
	0.0214	Sec1	1.40	4.61	0.3039	0.0027	0.0353	0.0273
		Sec2	1.40	4.61	0.3039	0.0018	0.0279	
		Sec3	1.40	4.61	0.3039	0.0017	0.0267	
	0.0286	Sec1	1.40	4.64	0.3018	0.0019	0.0338	0.0334
		Sec2	1.40	4.64	0.3018	0.0019	0.0338	
		Sec3	1.40	4.64	0.3018	0.0018	0.0325	

#### CÁLCULO S=0.0005, SECCION 1

##### Área hidráulica

$$A = 0.40 \times 0.035 = 0.014 \text{ m}^2$$

##### Perímetro mojado

$$P = 0.40 + (2 \times 0.035) = 0.47 \text{ m}$$

**Radio Hidráulico**

$$R = \frac{0.014}{0.47} = 0.029787 \text{ m}$$

**Caudal por fórmula del vertedero triangular**

$$Q = C_{\omega}^1 \cdot \frac{8}{15} \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{5/2} \tan(\beta/2)$$

$$Q = 0.58 \times \frac{8}{15} \sqrt{2 \times 9.81} \times 0.105^{5/2} \times \tan(32.28/2)$$

$$Q = 0.002257 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Coefficiente de Rugosidad**

$$n = \frac{1}{Q} AR^{2/3} S^{1/2}$$

$$n = \frac{1}{0.002257} \times 0.014 \times 0.029787^{2/3} \times 0.0005^{1/2}$$

$$n = 0.013328$$

**Velocidad por método del flotador**

$$V = \frac{1.4}{5} = 0.28 \text{ m/s}$$

**Coefficiente de rugosidad**

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$n = \frac{1}{0.28} \times 0.029787^{2/3} \times 0.0005^{1/2}$$

$$n = 0.0076739$$

**Tabla N° 15.** Hoja de cálculo Excel, fondo canto rodado

Material	S	Sección	b	y	A	P	R
Canto Rodado	0.0005	Sec1	0.40	0.0210	0.0084	0.4420	0.0190
		Sec2	0.40	0.0210	0.0084	0.4420	0.0190
		Sec3	0.40	0.0210	0.0084	0.4420	0.0190
	0.0214	Sec1	0.40	0.0150	0.0060	0.4300	0.0140
		Sec2	0.40	0.0100	0.0040	0.4200	0.0095
		Sec3	0.40	0.0100	0.0040	0.4200	0.0095
	0.0286	Sec1	0.40	0.0070	0.0028	0.4140	0.0068
		Sec2	0.40	0.0080	0.0032	0.4160	0.0077
		Sec3	0.40	0.0080	0.0032	0.4160	0.0077

Cálculo de caudal por Método del vertedero triangular								
Material	S	Sección	h	e	V	Q	n	n seleccionado
Canto Rodado	0.0005	Sec1	0.105	32.28	0.2687	0.0023	0.0059	0.0059
		Sec2	0.105	32.28	0.2687	0.0023	0.0059	
		Sec3	0.105	32.28	0.2687	0.0023	0.0059	
	0.0214	Sec1	0.106	32.28	0.3852	0.0023	0.0220	0.0114
		Sec2	0.106	32.28	0.5778	0.0023	0.0114	
		Sec3	0.106	32.28	0.5778	0.0023	0.0114	
	0.0286	Sec1	0.106	32.28	0.8254	0.0023	0.0073	0.0085
		Sec2	0.106	32.28	0.7222	0.0023	0.0091	
		Sec3	0.106	32.28	0.7222	0.0023	0.0091	

Cálculo de caudal por método del flotador								
Material	S	Sección	d	tp	V	Q	n	n seleccionado
Canto Rodado	0.0005	Sec1	1.40	5.15	0.2718	0.0023	0.0059	0.0059
		Sec2	1.40	5.15	0.2718	0.0023	0.0059	
		Sec3	1.40	5.15	0.2718	0.0023	0.0059	
	0.0214	Sec1	1.40	5.91	0.2371	0.0014	0.0358	0.0277
		Sec2	1.40	5.91	0.2371	0.0009	0.0277	
		Sec3	1.40	5.91	0.2371	0.0009	0.0277	
	0.0286	Sec1	1.40	6.86	0.2041	0.0006	0.0296	0.0314
		Sec2	1.40	6.86	0.2041	0.0007	0.0323	
		Sec3	1.40	6.86	0.2041	0.0007	0.0323	



**Tabla N° 16.** Hoja de cálculo Excel, fondo forma ondulada

Material	S	Sección	b	y	A	P	R
Forma Ondulada	0.0005	Sec1 (cresta)	0.40	0.0280	0.0112	0.4560	0.0246
		Sec2 (cresta)	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec3 (cresta)	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec4 (fondo)	0.40	0.0420	0.0168	0.4840	0.0347
		Sec5 (fondo)	0.40	0.0310	0.0124	0.4620	0.0268
		Sec6 (fondo)	0.40	0.0330	0.0132	0.4660	0.0283
	0.0214	Sec1 (cresta)	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec2 (cresta)	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec3 (cresta)	0.40	0.0090	0.0036	0.4180	0.0086
		Sec4 (fondo)	0.40	0.0280	0.0112	0.4560	0.0246
		Sec5 (fondo)	0.40	0.0270	0.0108	0.4540	0.0238
		Sec6 (fondo)	0.40	0.0230	0.0092	0.4460	0.0206
	0.0286	Sec1 (cresta)	0.40	0.0130	0.0052	0.4260	0.0122
		Sec2 (cresta)	0.40	0.0140	0.0056	0.4280	0.0131
		Sec3 (cresta)	0.40	0.0160	0.0064	0.4320	0.0148
		Sec4 (fondo)	0.40	0.0280	0.0112	0.4560	0.0246
		Sec5 (fondo)	0.40	0.0270	0.0108	0.4540	0.0238
		Sec6 (fondo)	0.40	0.0330	0.0132	0.4660	0.0283

Cálculo de caudal por Método del vertedero triangular								
Material	S	Sección	h	e	V	Q	n	n seleccionado
Forma Ondulada	0.0005	Sec1 (cresta)	0.107	32.28	0.2113	0.0024	0.0089	0.0036
		Sec2 (cresta)	0.107	32.28	0.3697	0.0024	0.0036	
		Sec3 (cresta)	0.107	32.28	0.3697	0.0024	0.0036	
		Sec4 (fondo)	0.107	32.28	0.1408	0.0024	0.0169	0.0110
		Sec5 (fondo)	0.107	32.28	0.1908	0.0024	0.0105	
		Sec6 (fondo)	0.107	32.28	0.1792	0.0024	0.0116	
	0.0214	Sec1 (cresta)	0.107	32.28	0.3697	0.0024	0.0239	0.0239
		Sec2 (cresta)	0.107	32.28	0.3697	0.0024	0.0239	
		Sec3 (cresta)	0.107	32.28	0.6572	0.0024	0.0094	
		Sec4 (fondo)	0.107	32.28	0.2113	0.0024	0.0585	0.0569
		Sec5 (fondo)	0.107	32.28	0.2191	0.0024	0.0552	
		Sec6 (fondo)	0.107	32.28	0.2572	0.0024	0.0428	
	0.0286	Sec1 (cresta)	0.107	32.28	0.4550	0.0024	0.0197	0.0210
		Sec2 (cresta)	0.107	32.28	0.4225	0.0024	0.0222	
		Sec3 (cresta)	0.107	32.28	0.3697	0.0024	0.0276	
		Sec4 (fondo)	0.107	32.28	0.2113	0.0024	0.0676	0.0657
		Sec5 (fondo)	0.107	32.28	0.2191	0.0024	0.0639	
		Sec6 (fondo)	0.107	32.28	0.1792	0.0024	0.0877	

Cálculo de caudal por método del flotador								
Material	S	Sección	d	tp	V	Q	n	n seleccionado
Forma Ondulada	0.0005	Sec1 (cresta)	1.40	6.24	0.2245	0.0025	0.0084	0.0060
		Sec2 (cresta)	1.40	6.24	0.2245	0.0014	0.0060	
		Sec3 (cresta)	1.40	6.24	0.2245	0.0014	0.0060	
		Sec4 (fondo)	1.40	6.24	0.2245	0.0038	0.0106	0.0091
		Sec5 (fondo)	1.40	6.24	0.2245	0.0028	0.0089	
		Sec6 (fondo)	1.40	6.24	0.2245	0.0030	0.0093	
	0.0214	Sec1 (cresta)	1.40	5.22	0.2685	0.0017	0.0329	0.0329
		Sec2 (cresta)	1.40	5.22	0.2685	0.0017	0.0329	
		Sec3 (cresta)	1.40	5.22	0.2685	0.0010	0.0229	
		Sec4 (fondo)	1.40	5.22	0.2685	0.0030	0.0460	0.0456
		Sec5 (fondo)	1.40	5.22	0.2685	0.0029	0.0451	
		Sec6 (fondo)	1.40	5.22	0.2685	0.0025	0.0410	
	0.0286	Sec1 (cresta)	1.40	5.52	0.2536	0.0013	0.0354	0.0362
		Sec2 (cresta)	1.40	5.52	0.2536	0.0014	0.0370	
		Sec3 (cresta)	1.40	5.52	0.2536	0.0016	0.0402	
		Sec4 (fondo)	1.40	5.52	0.2536	0.0028	0.0563	0.0557
		Sec5 (fondo)	1.40	5.52	0.2536	0.0027	0.0552	
		Sec6 (fondo)	1.40	5.52	0.2536	0.0033	0.0620	

**Tabla N° 17.** Hoja de cálculo Excel, fondo gravilla

Material	S	Sección	b	y	A	P	R
Gravilla	0.0005	Sec1	0.40	0.0250	0.0100	0.4500	0.0222
		Sec2	0.40	0.0260	0.0104	0.4520	0.0230
		Sec3	0.40	0.0240	0.0096	0.4480	0.0214
	0.0214	Sec1	0.40	0.0150	0.0060	0.4300	0.0140
		Sec2	0.40	0.0240	0.0096	0.4480	0.0214
		Sec3	0.40	0.0300	0.0120	0.4600	0.0261
	0.0286	Sec1	0.40	0.0140	0.0056	0.4280	0.0131
		Sec2	0.40	0.0250	0.0100	0.4500	0.0222
		Sec3	0.40	0.0280	0.0112	0.4560	0.0246

Cálculo de caudal por Método del vertedero triangular								
Material	S	Sección	h	e	V	Q	n	n seleccionado
Gravilla	0.0005	Sec1	0.106	32.28	0.2311	0.0023	0.0076	0.0077
		Sec2	0.106	32.28	0.2222	0.0023	0.0081	
		Sec3	0.106	32.28	0.2407	0.0023	0.0072	
	0.0214	Sec1	0.106	32.28	0.3852	0.0023	0.0220	0.0568
		Sec2	0.106	32.28	0.2407	0.0023	0.0469	
		Sec3	0.106	32.28	0.1926	0.0023	0.0668	
	0.0286	Sec1	0.106	32.28	0.4127	0.0023	0.0228	0.0635
		Sec2	0.106	32.28	0.2311	0.0023	0.0578	
		Sec3	0.106	32.28	0.2064	0.0023	0.0692	
Cálculo de caudal por método del flotador								
Material	S	Sección	d	tp	V	Q	n	n seleccionado
Gravilla	0.0005	Sec1	1.40	6.00	0.2332	0.0023	0.0076	0.0076
		Sec2	1.40	6.00	0.2332	0.0024	0.0078	
		Sec3	1.40	6.00	0.2332	0.0022	0.0074	
	0.0214	Sec1	1.40	4.15	0.3372	0.0020	0.0251	0.0358
		Sec2	1.40	4.15	0.3372	0.0032	0.0335	
		Sec3	1.40	4.15	0.3372	0.0040	0.0382	
	0.0286	Sec1	1.40	4.04	0.3465	0.0019	0.0271	0.0399
		Sec2	1.40	4.04	0.3465	0.0035	0.0386	
		Sec3	1.40	4.04	0.3465	0.0039	0.0412	

## B) Proceso Matemático de las variables por medio de H-Canales

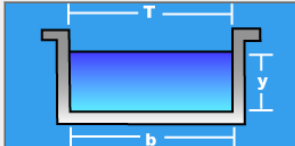
### B.1) Gravilla

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Gravilla**

**Datos:**

Caudal (Q):  m3/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**


Figura N° 6-1. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0005

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Gravilla**

**Datos:**

Caudal (Q):  m3/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Figura N° 6-2. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0214

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Gravilla**

**Datos:**

Caudal (Q):  m3/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Figura N° 6-3. Calculo en HCanales – Gravilla en pendiente de 0.0286

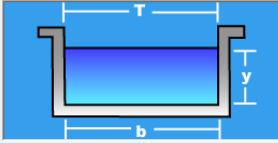
## B.2) Grass Sintético

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Grass Sintético**

**Datos:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0038"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.40"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.01"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0005"/>	m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0407"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.4813"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0163"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0338"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.2337"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.3700"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0434"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

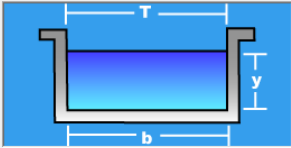
Figura N° 6-4. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0005

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Grass Sintético**

**Datos:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0018"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.40"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0241"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0214"/>	m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0136"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.4272"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0054"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0127"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.3310"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.9062"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0192"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

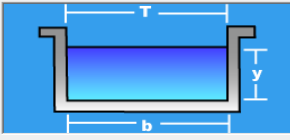
Figura N° 6-5. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0214

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Grass Sintético**

**Datos:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0019"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.40"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0307"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0286"/>	m/m



**Resultados:**

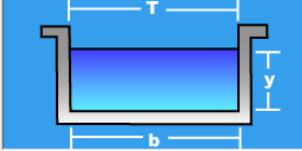
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0149"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.4298"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0060"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0139"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.4000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.3183"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.8318"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0201"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Figura N° 6-6. Calculo en HCanales – Grass Sintético en pendiente de 0.0286

### B.3) Canto Rodado

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Canto Rodado**

**Datos:**  
 Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m

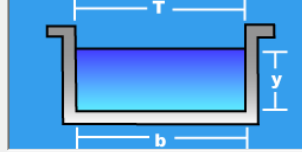


**Resultados:**  
 Tirante normal (y):  m      Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>      Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m      Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):   
 Tipo de flujo:       Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura N° 6-7. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0005

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Canto Rodado**

**Datos:**  
 Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m

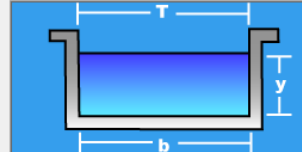


**Resultados:**  
 Tirante normal (y):  m      Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>      Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m      Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):   
 Tipo de flujo:       Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura N° 6-8. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0214

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Canto Rodado**

**Datos:**  
 Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**  
 Tirante normal (y):  m      Perímetro (p):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>      Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m      Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):   
 Tipo de flujo:       Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura N° 6-9. Calculo en HCanales – Canto Rodado en pendiente de 0.0286

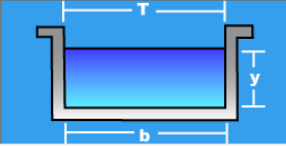
## B.4) Forma Ondulada

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Fondo Ondulado**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m·Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

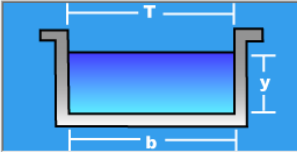
Figura N° 6-10. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0005

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Fondo Ondulado**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m·Kg/Kg  
 Tipo de flujo:


Figura N° 6-11. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0214

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento: **Fondo Ondulado**

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Ancho de solera (b):  m  
 Talud (Z):   
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m Perímetro (p):  m  
 Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R):  m  
 Espejo de agua (T):  m Velocidad (v):  m/s  
 Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m·Kg/Kg  
 Tipo de flujo:

Figura N° 6-12. Calculo en HCanales – Forma Ondulada en pendiente de 0.0286

### C) Proceso Matemático de las variables por modelamiento en Hec-Ras

#### C.1) Gravilla

$$S = 0.0005$$

Tabla N° 18. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0005

HEC-RAS Plan: Plan 17 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0486	0.1205	0.0191	0.4953	0.0385	0.1762
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0483	0.1215	0.0189	0.4946	0.0383	0.1783
Tramo1	1	PF 1	0.0479	0.1200	0.0192	0.4957	0.0386	0.1751

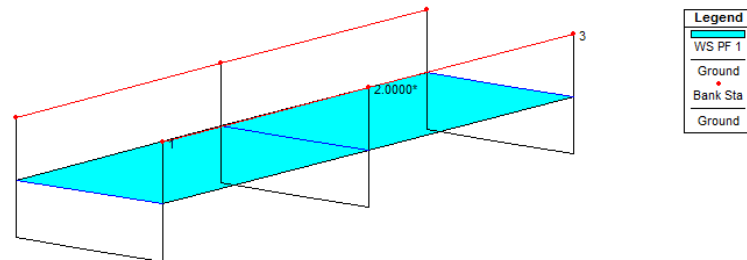


Figura N° 7-1. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0005

$$S = 0.0214$$

Tabla N° 19. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0214

HEC-RAS Plan: Plan 18 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0565	0.3386	0.0106	0.4531	0.0235	0.6631
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0416	0.3380	0.0107	0.4532	0.0235	0.6614
Tramo1	1	PF 1	0.0266	0.3387	0.0106	0.4531	0.0235	0.6635

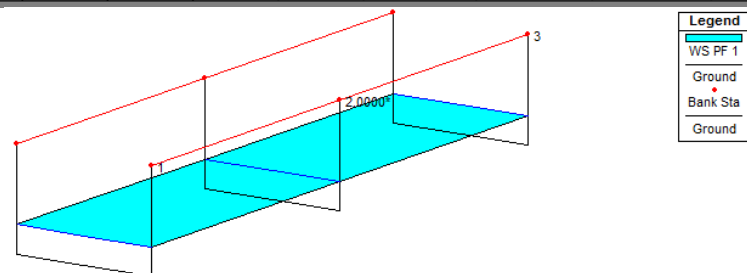


Figura N° 7-2. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0214

$$S = 0.0286$$

Tabla N° 20. HEC-RAS – Gravilla en pendiente de 0.0286

HEC-RAS Plan: Plan 19 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0657	0.3597	0.0103	0.4513	0.0228	0.7162
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0456	0.3628	0.0102	0.4509	0.0226	0.7253
Tramo1	1	PF 1	0.0256	0.3615	0.0102	0.4511	0.0227	0.7215

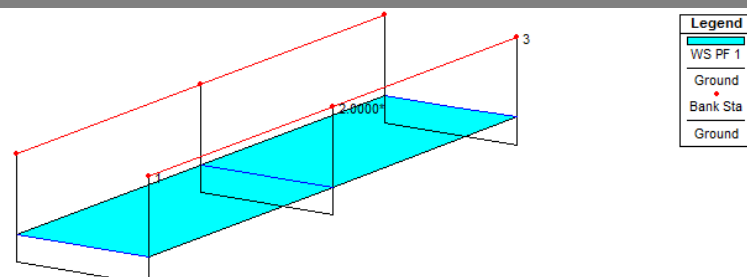


Figura N° 7-3. Modelado en HEC-RAS – Gravilla en 0.0286

C.2) Grass Sintético

$S = 0.0005$

Tabla N° 21. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0005

HEC-RAS Plan: Plan 20 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0414	0.2348	0.0162	0.4808	0.0337	0.3726
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0410	0.2372	0.0160	0.4800	0.0334	0.3785
Tramo1	1	PF 1	0.0407	0.2337	0.0163	0.4812	0.0338	0.3702

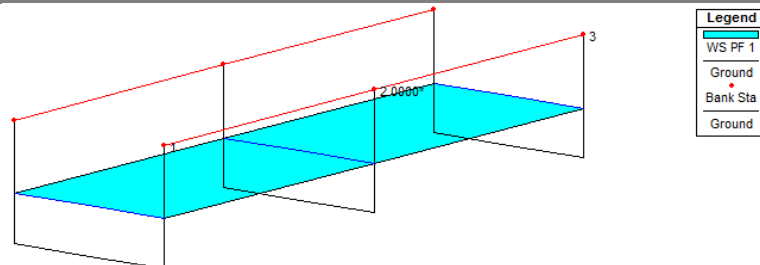


Figura N° 7-4. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0005

$S = 0.0214$

Tabla N° 22. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0214

HEC-RAS Plan: Plan 21 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.406	0.4177	0.0043	0.4214	0.0102	1.2850
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0258	0.4157	0.0043	0.4216	0.0103	1.2757
Tramo1	1	PF 1	0.0108	0.4157	0.0043	0.4216	0.0103	1.2757

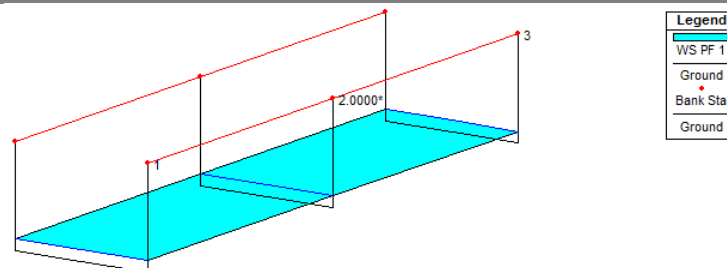


Figura N° 7-5. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0214

$S = 0.0286$

Tabla N° 23. HEC-RAS – Grass Sintético en pendiente de 0.0286

HEC-RAS Plan: Plan 22 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0547	0.3201	0.0059	0.4295	0.0138	0.8396
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0350	0.3196	0.0059	0.4296	0.0138	0.8377
Tramo1	1	PF 1	0.0149	0.3183	0.0060	0.4297	0.0139	0.8325

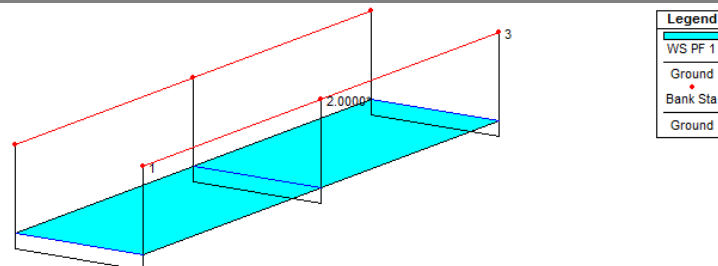


Figura N° 7-6. Modelado en HEC-RAS – Grass Sintético en 0.0286



C.3) Canto Rodado

$S = 0.0005$

Tabla N° 24. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0005

HEC-RAS Plan: Plan 26 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0220	0.2730	0.0084	0.4420	0.0191	0.6006
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0214	0.2800	0.0082	0.4410	0.0186	0.6240
Tramo1	1	PF 1	0.0212	0.2714	0.0085	0.4423	0.0192	0.5953

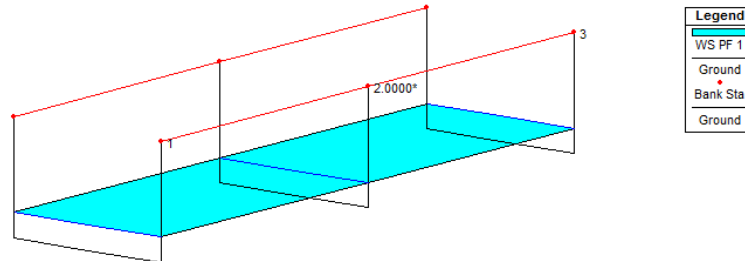


Figura N° 7-7. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0005

$S = 0.0214$

Tabla N° 25. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0214

HEC-RAS Plan: Plan 27 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0373	0.3043	0.0030	0.4147	0.0071	1.1302
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0223	0.3036	0.0030	0.4147	0.0071	1.1261
Tramo1	1	PF 1	0.0074	0.3036	0.0030	0.4147	0.0071	1.1261

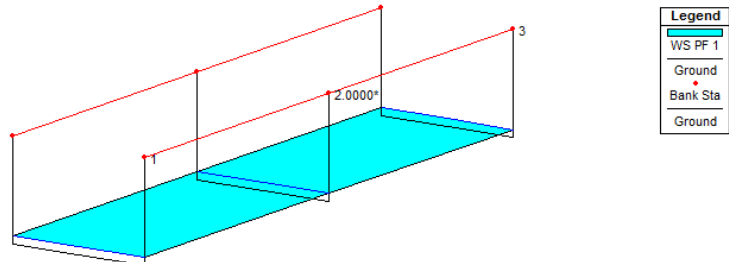


Figura N° 7-8. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0214

$S = 0.0286$

Tabla N° 26. HEC-RAS – Canto Rodado en pendiente de 0.0286

HEC-RAS Plan: Plan 28 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0456	0.2642	0.0023	0.4113	0.0055	1.1194
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0256	0.2722	0.0022	0.4109	0.0054	1.1708
Tramo1	1	PF 1	0.0061	0.2461	0.0024	0.4121	0.0059	1.0066

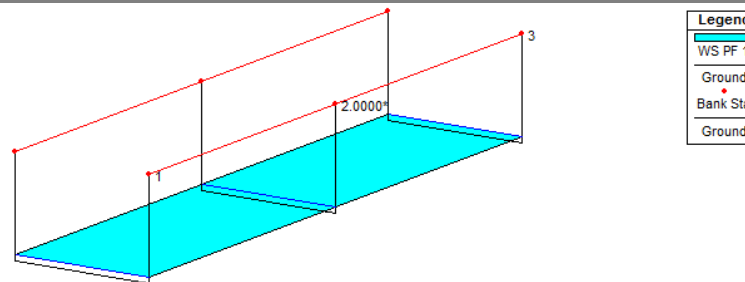


Figura N° 7-9. Modelado en HEC-RAS – Canto Rodado en 0.0286

C.4) Forma Ondulada  
 $S = 0.0005$

Tabla N° 27. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0005

HEC-RAS Plan: Plan 23 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0145	0.2566	0.0055	0.4272	0.0128	0.7018
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0139	0.2689	0.0052	0.4259	0.0122	0.7528
Tramo1	1	PF 1	0.0137	0.2554	0.0055	0.4273	0.0128	0.6969

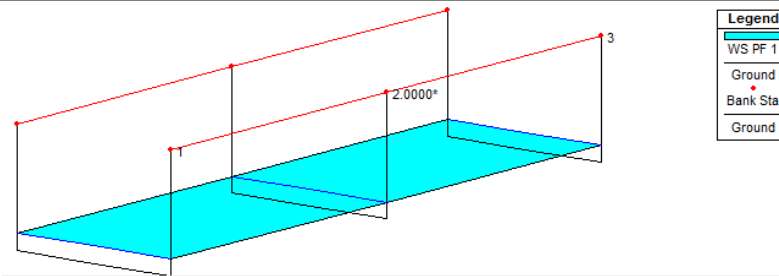


Figura N° 7-10. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0005

$S = 0.0214$

Tabla N° 28. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0214

HEC-RAS Plan: Plan 24 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0394	0.4480	0.0038	0.4189	0.0091	1.4693
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0245	0.4451	0.0038	0.4190	0.0091	1.4547
Tramo1	1	PF 1	0.0095	0.4451	0.0038	0.4190	0.0091	1.4546

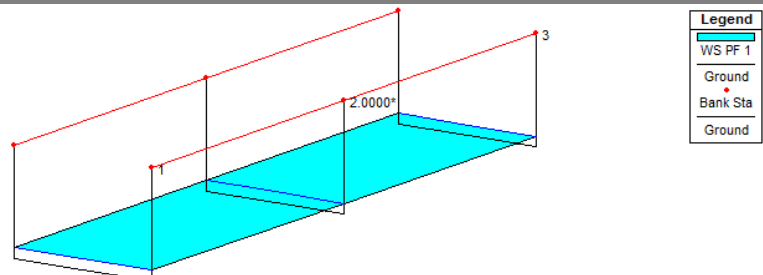


Figura N° 7-11. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0214

$S=0.0286$

Tabla N° 29. HEC-RAS – Forma Ondulada en pendiente de 0.0286

HEC-RAS Plan: Plan 25 River: Canal1 Reach: Tramo1 Profile: PF 1								
Reach	River Sta	Profile	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area Ch (m2)	W.P. Channel (m)	Hydr Radius C (m)	Froude # Chl
Tramo1	3	PF 1	0.0515	0.3027	0.0046	0.4230	0.0109	0.8990
Tramo1	2.0000*	PF 1	0.0319	0.2977	0.0047	0.4234	0.0111	0.8770
Tramo1	1	PF 1	0.0118	0.2956	0.0047	0.4236	0.0112	0.8677

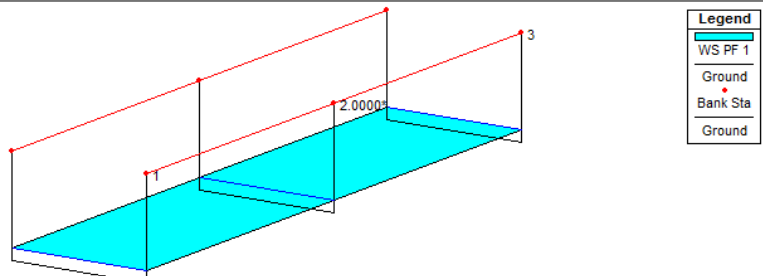


Figura N° 7-12. Modelado en HEC-RAS – Forma Ondulada en 0.0286

### 3.2.6. Técnicas de análisis de datos

#### A) Gráficas comparativas de características hidráulicas entre materiales

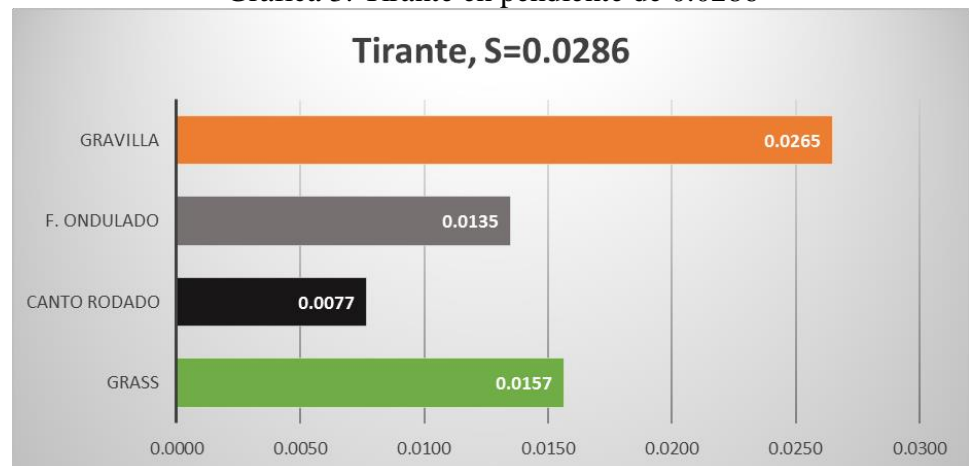
Gráfica 1. Tirante en pendiente de 0.0005



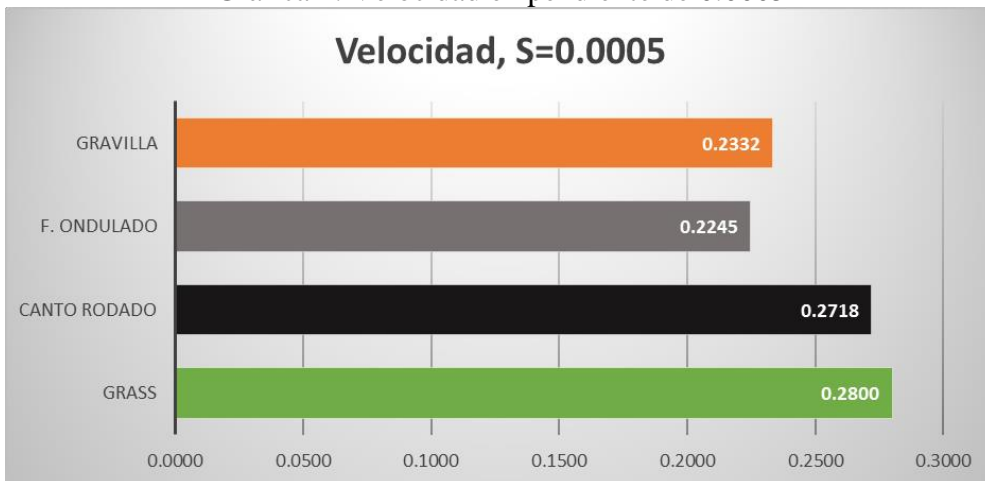
Gráfica 2. Tirante en pendiente de 0.0214



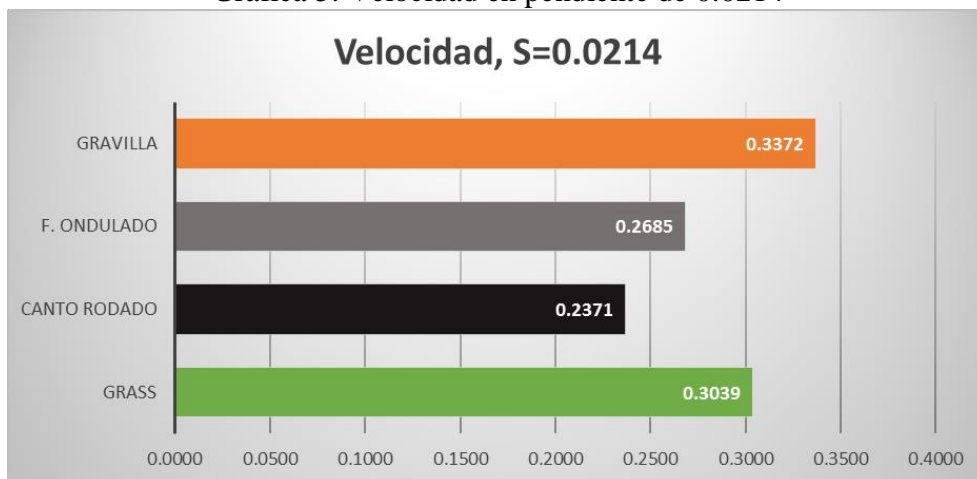
Gráfica 3. Tirante en pendiente de 0.0286



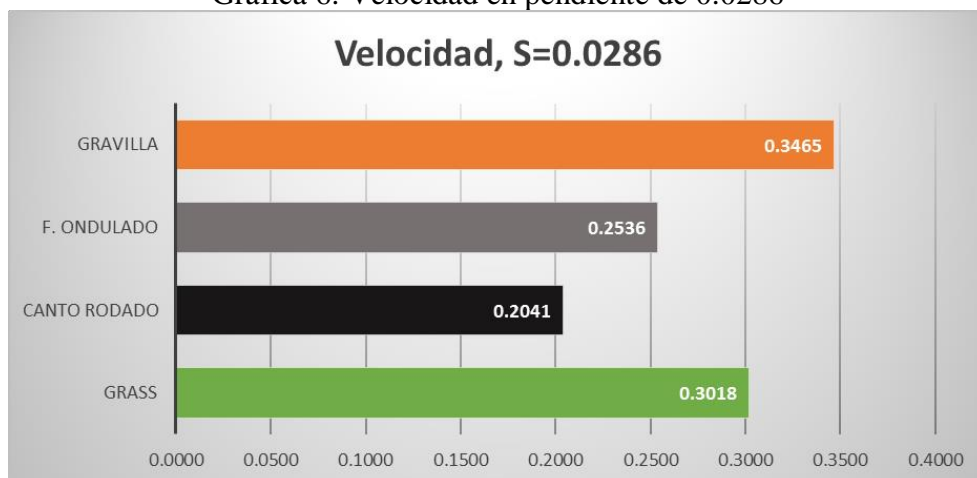
Gráfica 4. Velocidad en pendiente de 0.0005



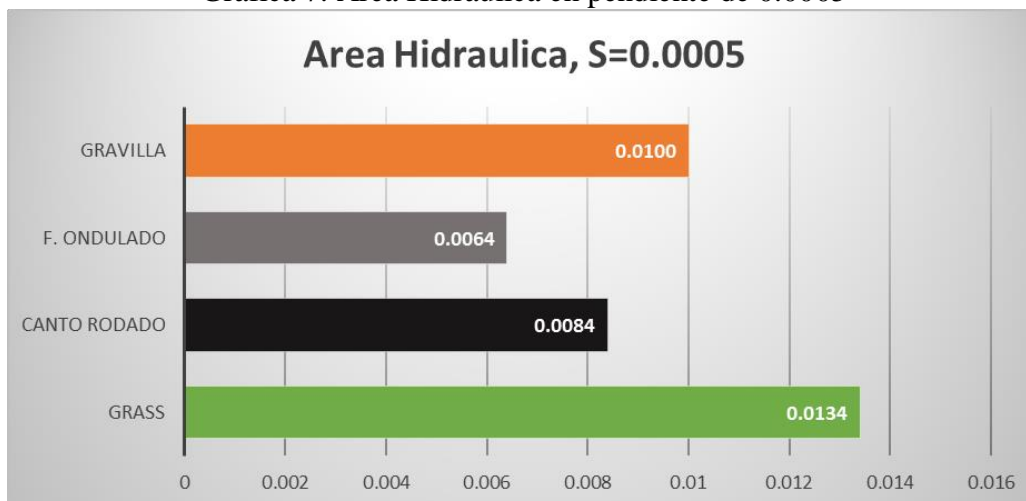
Gráfica 5. Velocidad en pendiente de 0.0214



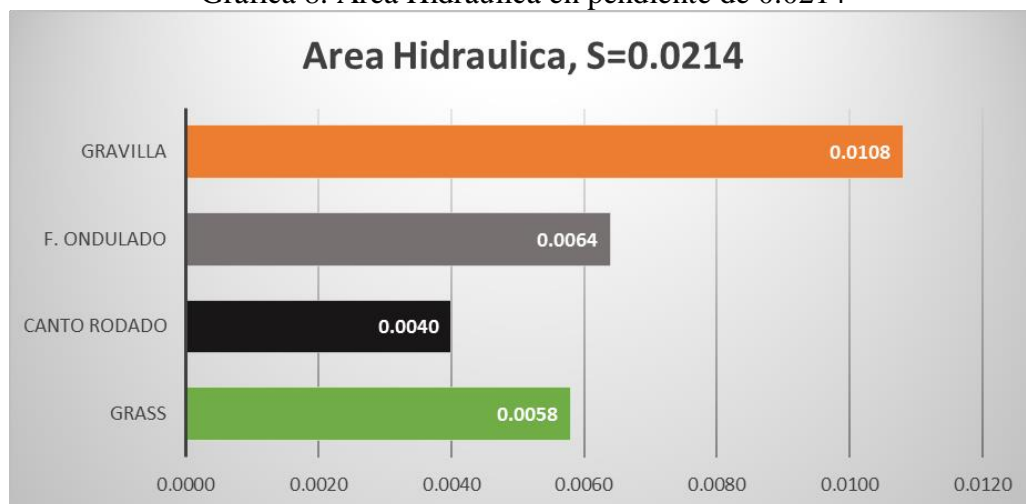
Gráfica 6. Velocidad en pendiente de 0.0286



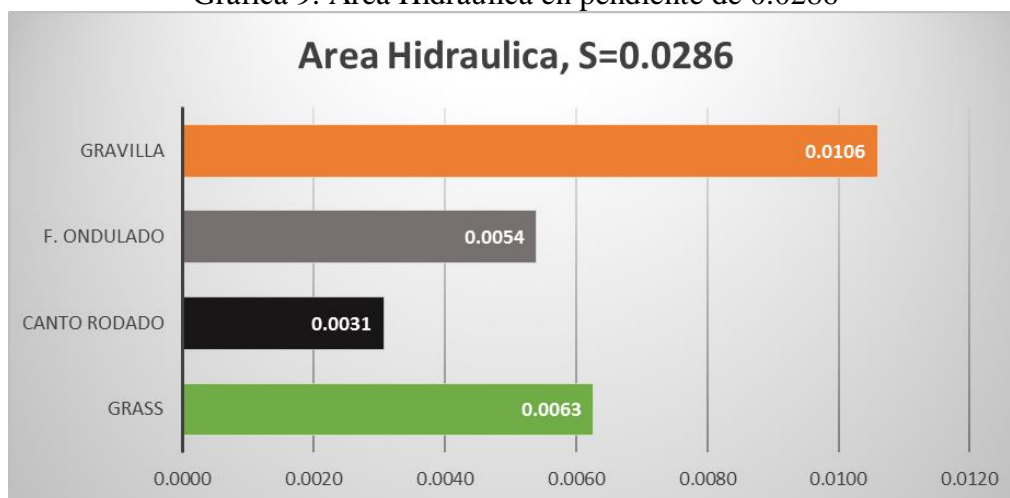
Gráfica 7. Área Hidráulica en pendiente de 0.0005



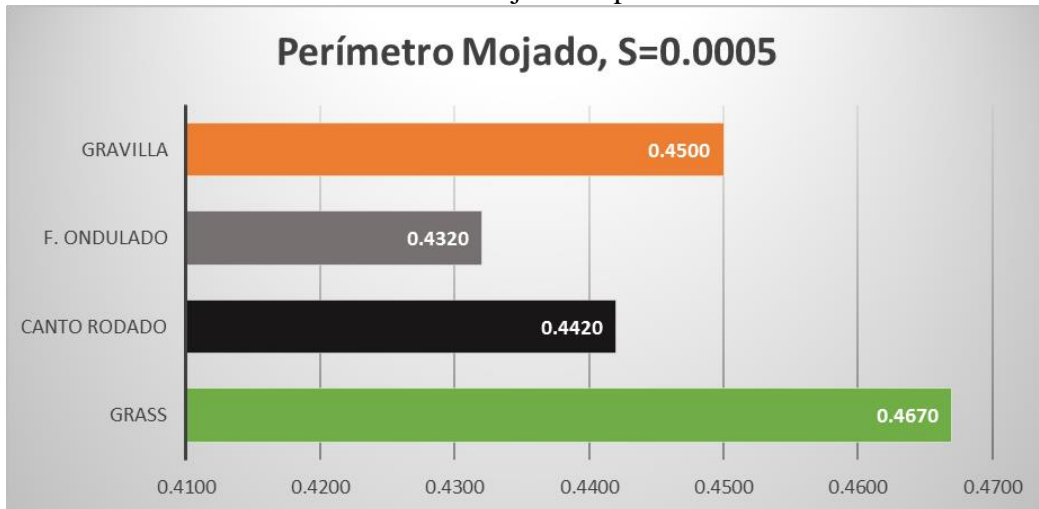
Gráfica 8. Área Hidráulica en pendiente de 0.0214



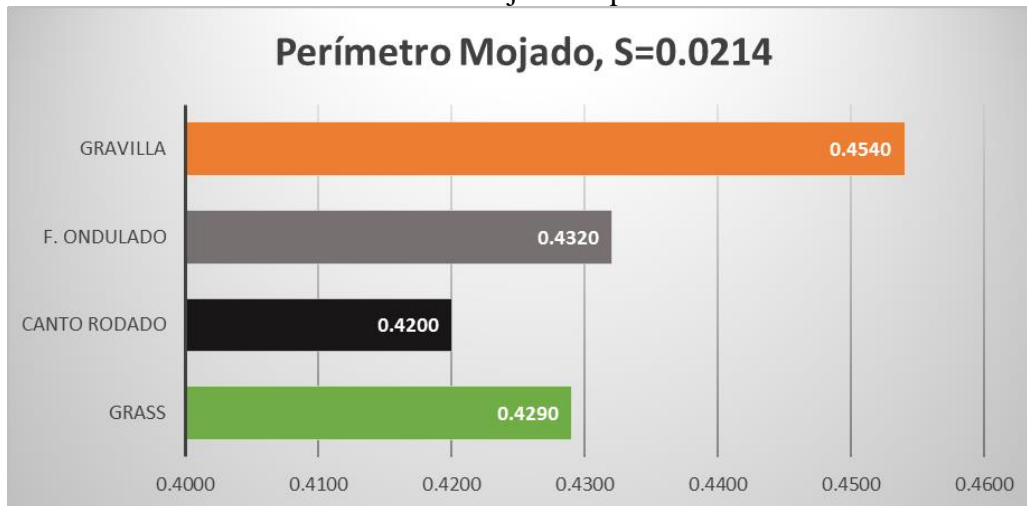
Gráfica 9. Área Hidráulica en pendiente de 0.0286



Gráfica 10. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0005



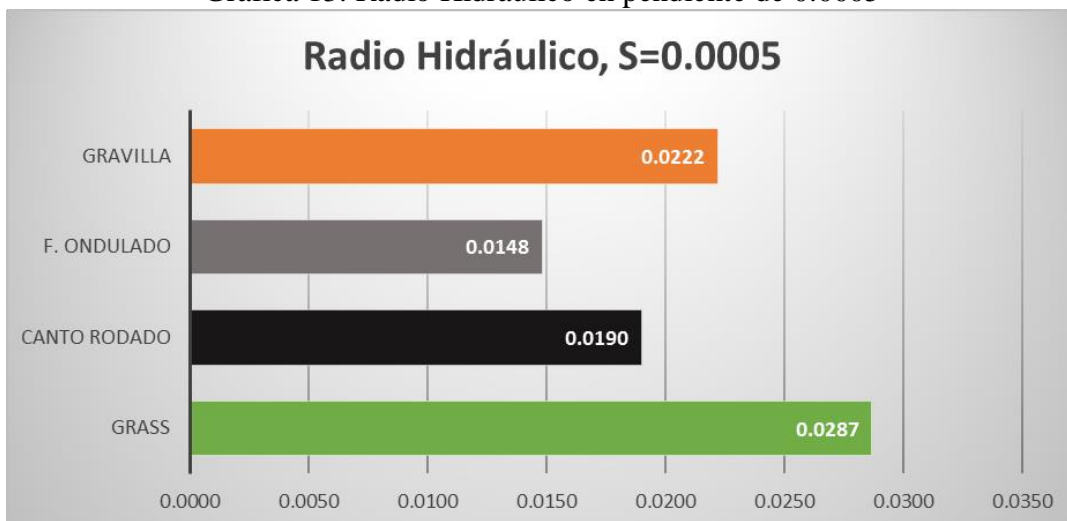
Gráfica 11. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0214



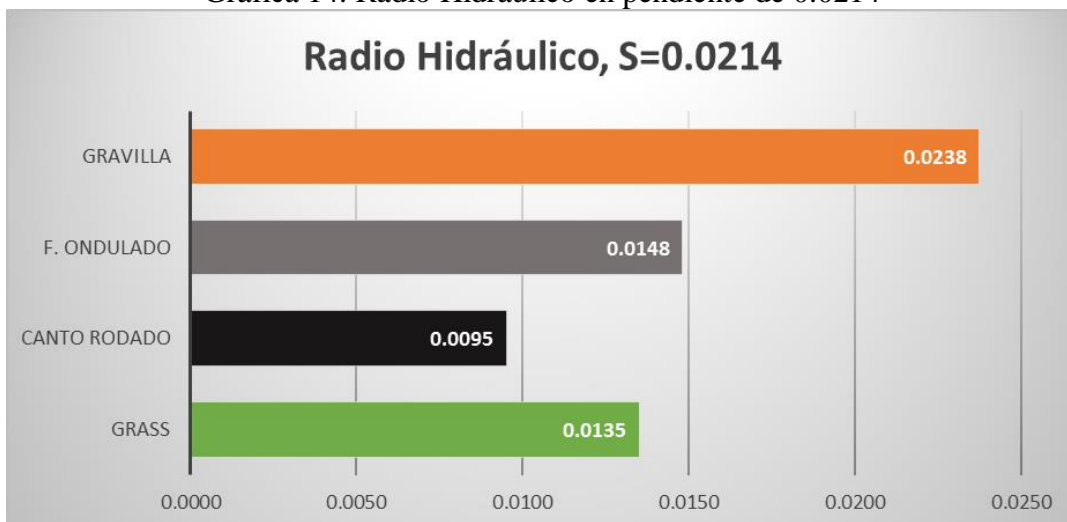
Gráfica 12. Perímetro Mojado en pendiente de 0.0286



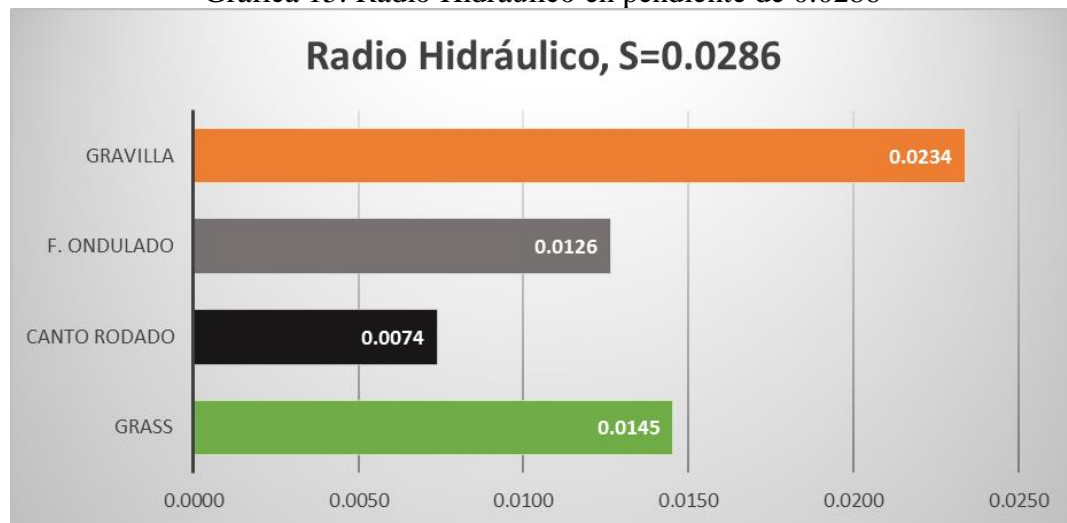
Gráfica 13. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0005



Gráfica 14. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0214

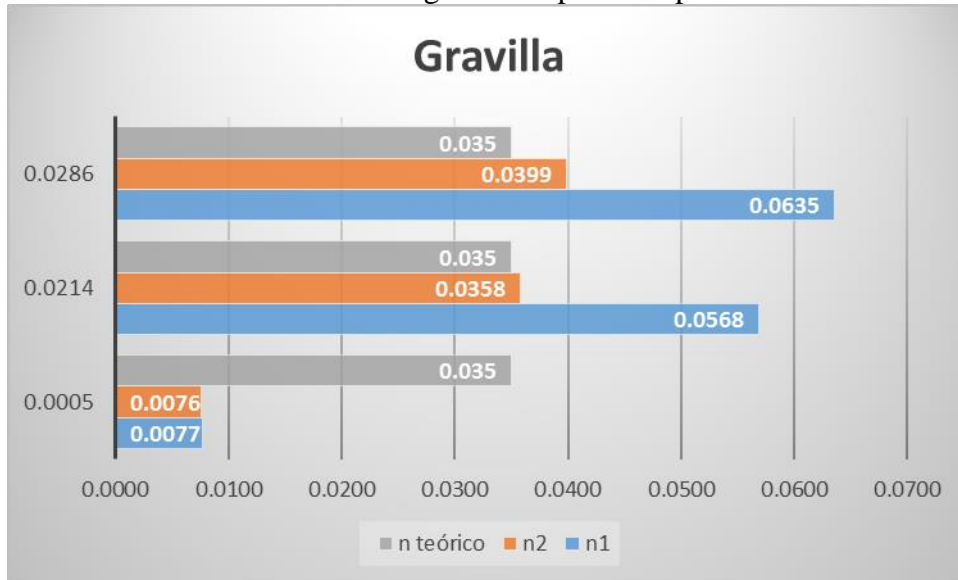


Gráfica 15. Radio Hidráulico en pendiente de 0.0286

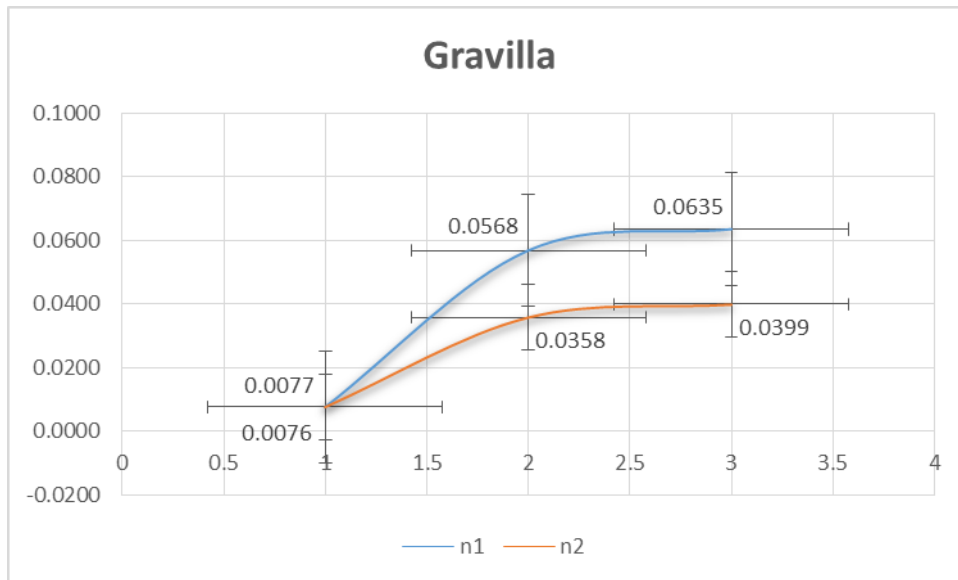


## B) Gráficas de rangos de coeficientes de rugosidad por material

Gráfica 16. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Gravilla

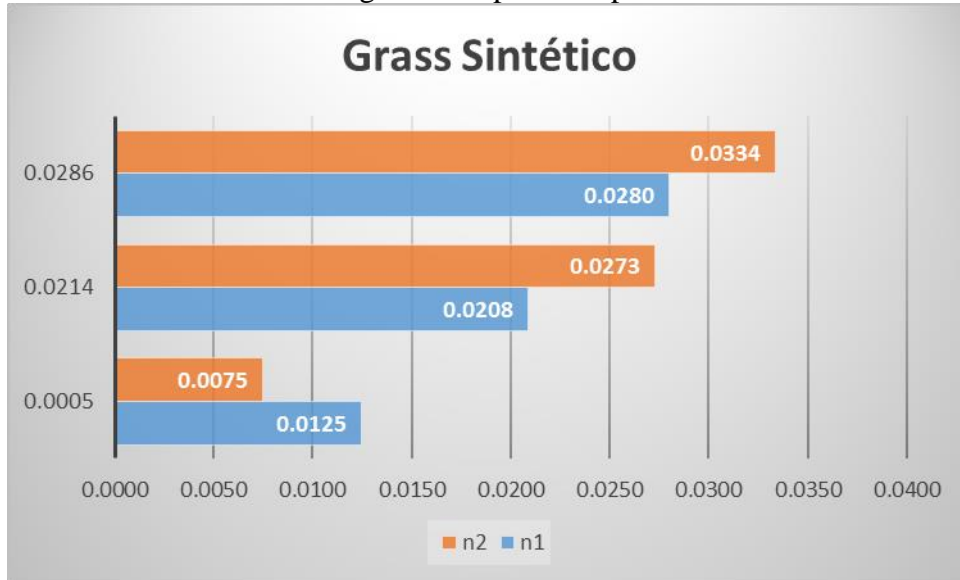


Gráfica 17. Gravilla N vs S

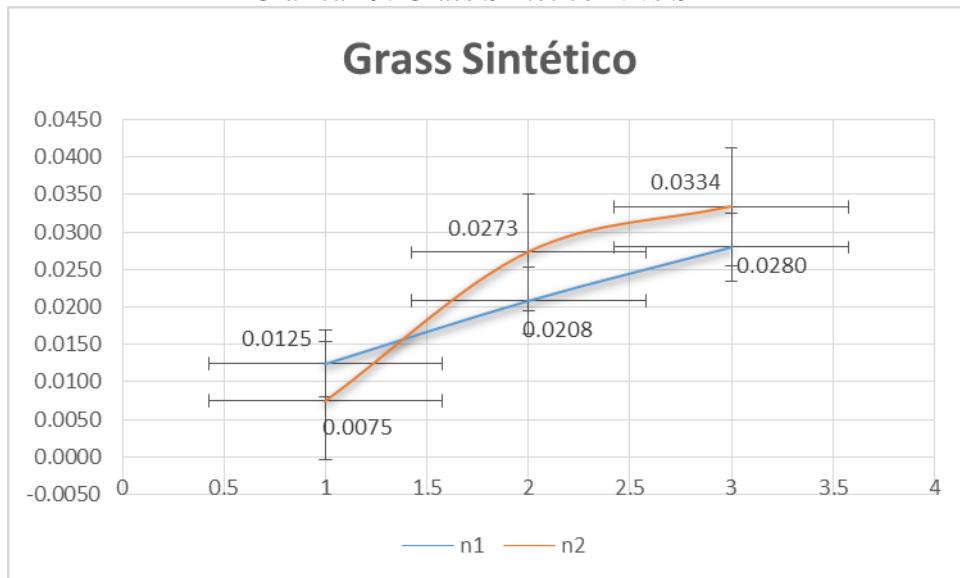




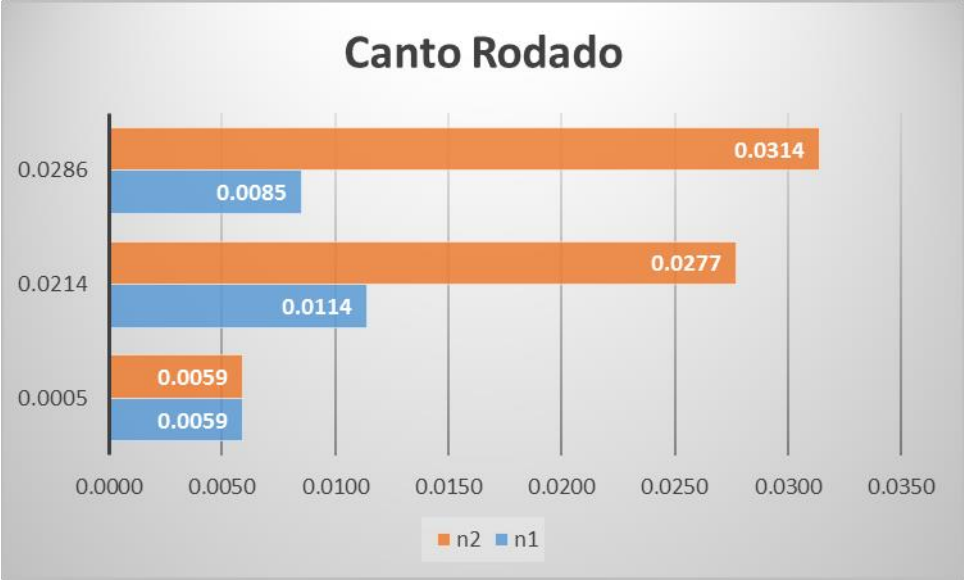
Gráfica 18. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Grass Sintético



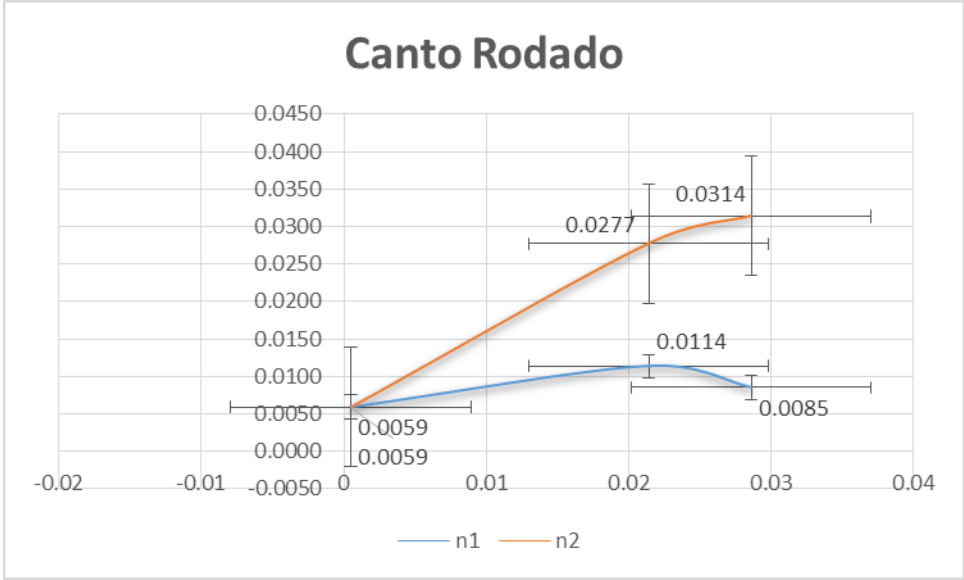
Gráfica 19. Grass Sintético N vs S



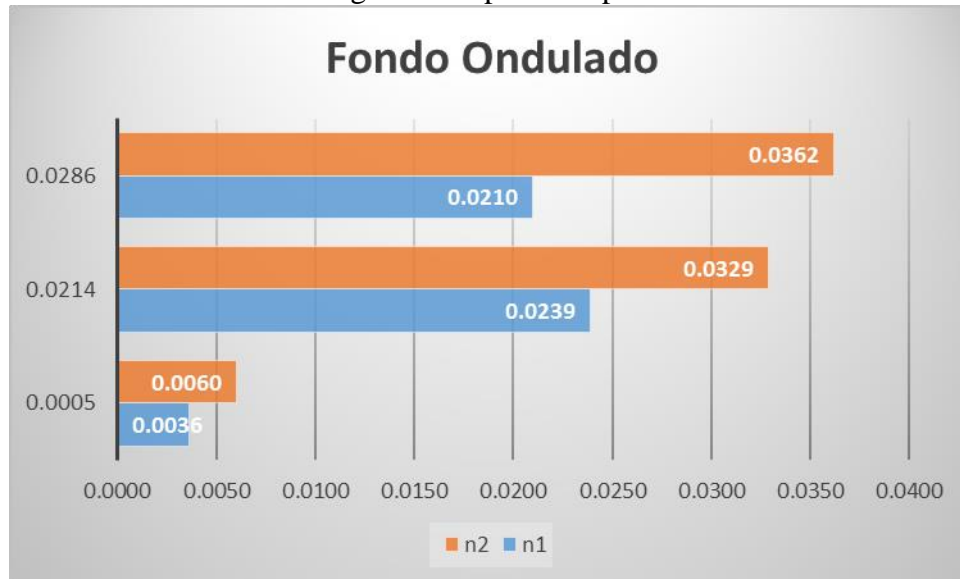
Gráfica 20. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Canto Rodado



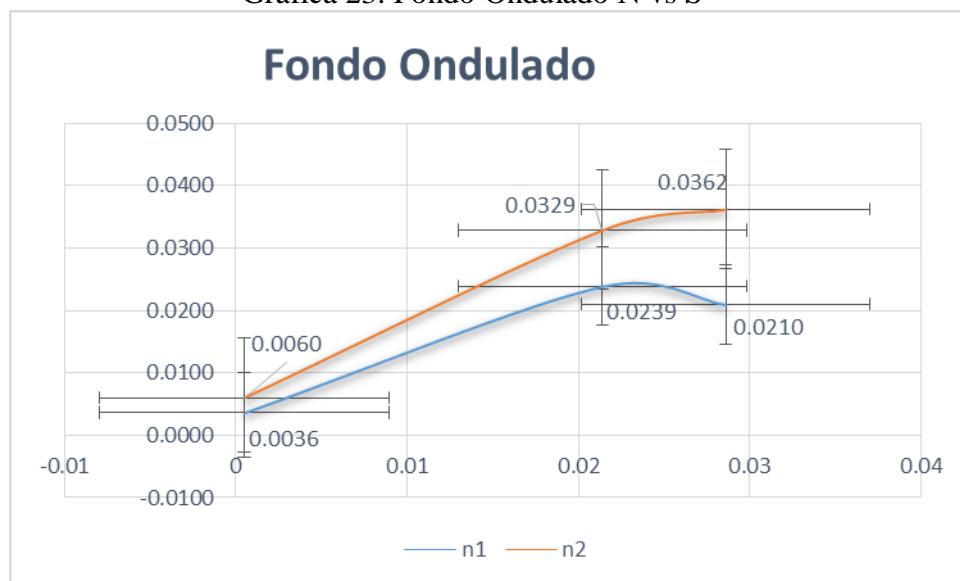
Gráfica 21. Canto Rodado N vs S



Gráfica 22. Coeficientes de Rugosidades por cada pendiente en Fondo Ondulado



Gráfica 23. Fondo Ondulado N vs S



#### 4. RESULTADOS

Tabla N<sup>a</sup> 30. Resultados

Características Hidráulicas, S=0.0005	Gravilla			Grass Sintético			Canto Rodado			Fondo Ondulada		
	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas
Coefficiente de Rugosidad	0.0076	0.0076	0.0076	0.0100	0.0100	0.0100	0.0059	0.0059	0.0059	0.0048	0.0048	0.0048
Tirante (m)	0.0250	0.0479	0.0483	0.0335	0.0407	0.0410	0.0210	0.0212	0.0215	0.0160	0.0137	0.0140
Velocidad (m/s)	0.2332	0.1200	0.1207	0.2800	0.2337	0.2352	0.2718	0.2714	0.2748	0.2245	0.2553	0.2603
Área Hidráulica (m <sup>2</sup> )	0.0100	0.0192	0.0191	0.0134	0.0163	0.0162	0.0084	0.0085	0.0084	0.0064	0.0055	0.0054
Perímetro Mojado (m)	0.4500	0.4958	0.4952	0.4670	0.4813	0.4807	0.4420	0.4424	0.4418	0.4320	0.4274	0.4268
Radio Hidráulico (m)	0.0222	0.0387	0.0385	0.0287	0.0338	0.0336	0.0190	0.0192	0.0190	0.0148	0.0128	0.0126
Número de Froude	0.4709	0.1751	0.1765	0.4884	0.3700	0.3738	0.5987	0.5952	0.6066	0.5668	0.6962	0.7172
Tipo de Flujo	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico

Características Hidráulicas, S=0.0214	Gravilla			Grass Sintético			Canto Rodado			Forma Ondulada		
	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas
Coefficiente de Rugosidad	0.0463	0.0463	0.0463	0.0241	0.0241	0.0241	0.0195	0.0195	0.0195	0.0284	0.0284	0.0284
Tirante (m)	0.0270	0.0266	0.0415	0.0145	0.0136	0.0257	0.0100	0.0078	0.0223	0.0160	0.0145	0.0244
Velocidad (m/s)	0.3372	0.3386	0.3384	0.3039	0.3310	0.4164	0.2371	0.2879	0.3038	0.2685	0.2926	0.4460
Área Hidráulica (m <sup>2</sup> )	0.0108	0.0106	0.0106	0.0058	0.0054	0.0043	0.0040	0.0031	0.0030	0.0064	0.0058	0.0038
Perímetro Mojado (m)	0.4540	0.4532	0.4531	0.4290	0.4272	0.4215	0.4200	0.4156	0.4147	0.4320	0.4290	0.4190
Radio Hidráulico (m)	0.0238	0.0235	0.0235	0.0135	0.0127	0.0103	0.0095	0.0075	0.0071	0.0148	0.0135	0.0091
Número de Froude	0.6552	0.6632	0.6627	0.8058	0.9062	1.2788	0.7570	1.0400	1.1275	0.6776	0.7752	1.4595
Tipo de Flujo	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Supercrítico	Subcrítico	Supercrítico	Supercrítico	Subcrítico	Subcrítico	Supercrítico

Características Hidráulicas, S=0.0286	Gravilla			Grass Sintético			Canto Rodado			Forma Ondulada		
	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas	Experimental	Hcanales	HecRas
Coefficiente de Rugosidad	0.0517	0.0517	0.0517	0.0307	0.0307	0.0307	0.0200	0.0200	0.0200	0.0286	0.0286	0.0286
Tirante (m)	0.0265	0.0256	0.0456	0.0157	0.0149	0.0349	0.0077	0.0057	0.0258	0.0135	0.0118	0.0317
Velocidad (m/s)	0.3465	0.3614	0.3613	0.3018	0.3183	0.3193	0.2041	0.2642	0.2608	0.2536	0.2956	0.2986
Área Hidráulica (m <sup>2</sup> )	0.0106	0.0102	0.0102	0.0063	0.0060	0.0059	0.0031	0.0023	0.0023	0.0054	0.0047	0.0047
Perímetro Mojado (m)	0.4530	0.4512	0.4511	0.4313	0.4298	0.4296	0.4153	0.4114	0.4114	0.4270	0.4237	0.4233
Radio Hidráulico (m)	0.0234	0.0277	0.0227	0.0145	0.0139	0.0138	0.0074	0.0055	0.0056	0.0126	0.0112	0.0111
Número de Froude	0.6797	0.7213	0.7210	0.7699	0.8318	0.8366	0.7443	1.1194	1.0989	0.6969	0.8674	0.8812
Tipo de Flujo	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico	Supercrítico	Supercrítico	Subcrítico	Subcrítico	Subcrítico

Las pruebas sobre el canal de procesos morfológicos tuvieron como resultado las características hidráulicas más importantes de un caudal de flujo como: coeficiente de rugosidad, tirante, velocidad, área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico y número de Froude, para un análisis comparativo de qué superficie es más recomendable como fondo de canal. Se presentó las características hidráulicas obtenidas en los softwares de modelamiento de canales, H Canales y Hec Ras, a partir del coeficiente de rugosidad y caudal que transita para contrastar con los resultados experimentales.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las características hidráulicas del caudal de flujo de cada superficie han sido evaluadas como su factor principal: la rugosidad.

Debido a que los rangos del  $n$  de Manning para coeficiente de rugosidad aumenta a medida que aumenta la pendiente usada en cada superficie, en las características hidráulicas de cada flujo se ha podido evidenciar lo siguiente:

Pendiente:  $S = 0.0005$ :

- La superficie más rugosa ha sido la de grass sintético, siendo el menor el de fondo ondulado.
- Debido a esto, el tirante más alto se presentó en el grass sintético y el más bajo en el de fondo ondulado.
- La velocidad media de cada superficie son bastantes similares rondado el rango de 0.22 y 0.28 m/s.
- Ya que los perímetros mojados son muy similares, la máxima conductividad estará dada por el radio hidráulico, siendo el mayor la superficie de grass sintético.
- Teniendo una pendiente muy pequeña, todos los flujos son subcríticos.

Pendiente:  $S = 0.0214$ :

- La superficie más rugosa ha sido la de gravilla, siendo el menor el de canto rodado.
- El tirante más alto se presentó en la gravilla y el más bajo en el de canto rodado.
- Las superficies de mayor velocidad son las de la gravilla y el grass sintético con una velocidad mayor a 0.3 m/s.
- Ya que los perímetros mojados son muy similares, la máxima conductividad estará dada por el radio hidráulico, siendo el mayor la superficie de gravilla.
- Tomando en cuenta los tipos de flujo obtenido en los softwares, la superficie del canto rodado presentó un flujo supercrítico debido a la filtración del flujo a través de la misma distribución del material.

Pendiente:  $S = 0.0286$ :

- La superficie más rugosa ha sido ha sido la de gravilla, siendo el menor el de canto rodado.
- El tirante más alto se presentó en la gravilla y el más bajo en el de canto rodado.
- Las superficies de mayor velocidad son las de la gravilla y el grass sintético con una velocidad mayor a 0.3 m/s.
- Ya que los perímetros mojados son muy similares, la máxima conductividad estará dada por el radio hidráulico, siendo el mayor la superficie de gravilla.

Tomando en cuenta los tipos de flujo obtenido en los softwares, la superficie del canto rodado presentó un flujo supercrítico debido a la filtración del flujo a través de la misma distribución del material.

## **6. CONCLUSIONES**

La socavación dada en la superficie de gravilla creó mayor tirantes a pesar que la rugosidad aumentaba en cada pendiente. A diferencia de las otras superficies que no se ven afectadas por este fenómeno erosivo.

Las rugosidades del grass sintético y del fondo ondulado obtuvieron mayores rugosidades que el canto rodado manteniendo flujos subcríticos con menor tirante que el de la gravilla.

La superficie de grass sintético posee mejor conductividad entre las otras superficies alternativas.

Se considerará la superficie de grass sintético como material de fondo de canal con un buen comportamiento hidráulico sin los problemas de socavamiento que posee el de la gravilla.

La elección de que superficie a tomar es a criterio del diseñador y debe tomarse en cuenta el tramo a revestir por el valor económico que posee las superficies alternativas.

## **7. RECOMENDACIONES**

Se debe tener en cuenta la sedimentación del material para evitar daños en la bomba.

La colocación de los fondos se debe hacer en la mitad del canal para que el flujo ya llegue estabilizado.

Es más práctico trabajar en un canal con pendiente modificable, para mayor precisión de toma de datos.

Realizar una adecuada compactación del material granular.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alunni, J. (2002). *Cátedra: Fundamentos de Ingeniería – Tema 11: Canales*.  
Recuperado de  
<http://ing.unne.edu.ar/dep/eol/fundamento/tema/T11c.pdf>
- Sotelo, G. (2002). *Hidráulica de canales*. México D.F.: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Autoridad Nacional del Agua (2010). *Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Lima: Dirección de estudios de proyectos hidráulicos multisectoriales.
- Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación. (2013). *Diseño Hidráulico de un Canal de Llamada*. México: Subsecretaría de Desarrollo Rural y Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.
- Cataño Lopera, Y. (2000). *Curvas de Calibración en Canales Compuestos*. (Tesis de Maestría en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gutiérrez Silva, J. (2009). *Calculo Del Coeficiente De Rugosidad De Manning Utilizando Gravilla, Arena, Piedra Pegada Y Tierra Como Fondo Mediante Un Canal A Escala Como Modelo Físico*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de la Salle, Bogotá D.C.
- Tellez Díaz J. (2012). *Diseño Hidráulico De La Descarga De Una Planta De Bombeo*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- TECSUP. (2010). Conceptos de Hidrometría. En TECSUP. *Fundamentos en el Tratamiento de Agua Potable*. (1 – 3). Perú: TECSUP
- López, J. (2007). *Hidráulica General*. México D.F.: UAS, Facultad de Agronomía.

# ANEXOS

## ANEXO A

Fecha:			
Hora:			
Fondo:			
Longitud:	m		
Ancho:	m		
Espesor Promedio:			
S1=			
	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y			
dh			
Velocidad			
	d=		
	t1=		
	t2=		
	t3=		
	t4=		
	t5=		
	t6=		
Caudal metodo del vertedero triang.			h=
S2=			
	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y			
dh			
Velocidad			
	d=		
	t1=		
	t2=		
	t3=		
	t4=		
	t5=		
	t6=		
Caudal metodo del vertedero triang.			h=
S3=			
	Sección 1	Sección 2	Sección 3
Y			
dh			
Velocidad			
	d=		
	t1=		
	t2=		
	t3=		
	t4=		
	t5=		
	t6=		
Caudal metodo del vertedero triang.			h=