

Métodos numéricos aplicados al cálculo hidráulico en canales de regadío de Bagua

Numerical methods applied to the hydraulic calculation of irrigation canals in Bagua

Métodos numéricos aplicados para o cálculo hidráulico dos canais de irrigação em Bagua

Ronald Omar Estela Urbina¹, Jhon Jairo Danduchop Paati¹ Segundo Marcial Chicote Alcalde¹, Fernando Alain Incio Flores¹, Nemesio Santamaría Baldera¹, Roger Álvaro Fernández Villarroel¹, Carlos Carcausto Quispe², Giovanna Guzmán Cáceres³, María Elena Cárdenas León⁴, Daniel Jesús Castro Vargas⁴

RESUMEN

El presente artículo evidencia la investigación realizada, ponderando la importancia de la hidráulica en la formación académica del futuro ingeniero civil, así mismo teniendo en cuenta la escasa infraestructura de riego en la provincia de Bagua, que es eminentemente agrícola. El objetivo fue la revisión de los factores hidráulicos de los distintos conductos abiertos existentes, ya sean naturales o artificiales, así como la elaboración de modelos matemáticos que permitan simular numéricamente el comportamiento hidráulico. Esta investigación se realizó en el curso de Métodos Numéricos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua –UNIFSLB durante el año 2020 y 2021. La metodología consistió en tres fases: La primera fase consistió en la obtención de datos en campo, en la segunda fase se realizó cálculos informáticos utilizando el lenguaje de programación Python, y en la última fase metodológica se procedió a elaborar e implementar modelos o métodos matemáticos. Los resultados obtenidos para el caudal y la velocidad difieren aproximadamente en 3% del valor teórico respecto al valor medido en campo, de la misma forma se implementó programas para el cálculo hidráulico. Finalmente se codificó los métodos numéricos para la simulación numérica y gráfica.

Palabras claves: Método numérico, canal hidráulico, Manning, Python.

ABSTRACT

This article evidences the research carried out, considering the importance of hydraulics in the academic training of the future civil engineer, also taking into account the scarce irrigation infrastructure in the province of Bagua, which is eminently agricultural. The objective was the review of the hydraulic factors of the different existing open conduits, whether natural or artificial, as well as the elaboration of mathematical models that allow numerically simulating the hydraulic behavior. This research was carried out in the Numerical Methods course of the Civil Engineering career of the National Intercultural University "Fabiola Salazar Leguía" of Bagua -UNIFSLB during the year 2020 and 2021. The methodology consisted of three phases: The first phase consisted of field data collection, in the second phase computer calculations were performed using the Python programming language, and in the last methodological phase we proceeded to develop and implement models or mathematical methods. The results obtained for flow and velocity differ by approximately 3% from the theoretical value with respect to the value measured in the field, and programs for hydraulic calculation were also implemented. Finally, the numerical methods for numerical and graphical simulation were codified.

Keywords: Numerical method, hydraulic channel, Manning, Python.

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.70>

¹Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua. Perú, correo: restela@unibagua.edu.pe; jdanduchop@unibagua.edu.pe; schicotea@unibagua.edu.pe; fcncio@unibagua.edu.pe; nsantamaria@unibagua.edu.pe; rfernandez@unibagua.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano. Perú, correo: ccarcausto@unap.edu.pe

³Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco. Perú, correo: giovanna.guzman@unsaac.edu.pe

⁴Universidad Nacional Autónoma de Chota. Perú, correo: mcardenas@unach.edu.pe; djcastrov@unach.edu.pe

RESUMO

Este artigo mostra a pesquisa realizada, considerando a importância da hidráulica na formação acadêmica do futuro engenheiro civil, bem como levando em conta a escassa infra-estrutura de irrigação na província de Bagua, que é eminentemente agrícola. O objetivo era rever os fatores hidráulicos dos diferentes condutos abertos existentes, sejam naturais ou artificiais, bem como a elaboração de modelos matemáticos para simular numericamente o comportamento hidráulico. Esta pesquisa foi realizada no curso de Métodos Numéricos do curso de Engenharia Civil da Universidade Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua -UNIFSLB durante os anos de 2020 e 2021. A metodologia consistia em três fases: A primeira fase consistiu na coleta de dados de campo, na segunda fase foram realizados cálculos computadorizados utilizando a linguagem de programação Python, e na última fase metodológica procedemos ao desenvolvimento e implementação de modelos ou métodos matemáticos. Os resultados obtidos para o fluxo e velocidade diferem em aproximadamente 3% do valor teórico em relação ao valor medido no campo, e da mesma forma, foram implementados programas para o cálculo hidráulico. Finalmente, os métodos numéricos para a simulação numérica e gráfica foram codificados.

Palavras-chave: Método numérico, calha hidráulica, Manning, Python.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Bagua está rodeada de grandes extensiones de tierras cultivables lo que hace imperiosa la necesidad de un buen manejo del recurso hídrico, no solo en su uso, sino también a su conducción. Los ríos que recorren la región de Amazonas y todo el nor-oriental del territorio peruano alimentan a toda una red de derivaciones o canales emergentes (Hernández, Rivas, & Feliu, 2020), cuya labor de la ingeniería es conducir con la mayor de las eficiencias a las parcelas agrícolas (González, 2020).

Los canales de regadío que se encuentran en esta zona tropical del Perú, son naturales y artificiales, existiendo en esta región actualmente gran demanda de infraestructura hidráulica de eficiencia (Alfaro, Guerra, & Olivares, 2020). El diseño de estructuras de conducción de fluido por gravedad implica una revisión de parámetros físicos y geométricos de los canales ya existentes y proponer mejoras, lo cual hace imperiosa la necesidad de un modelamiento numérico (J. Hernández & Martínez, 2019).

En condiciones hidráulicas de flujo uniforme es decir que: tirante hidráulico, velocidad, área, caudal entre otros parámetros no varían con respecto al espacio, es decir se mantienen constantes, de cumplirse esta condición, dicho flujo permanente recibe el nombre de flujo normal (Pantaleón et al., 2019). La expresión empírica más usada y que reúne parámetros físico geométricos es la fórmula de Manning:

$$V = \frac{R_h^{(2/3)} \cdot S^{(1/2)}}{n}$$

Donde V representa la velocidad del fluido, R_h es el radio hidráulico, S pendiente del canal, n es el coeficiente de rugosidad.

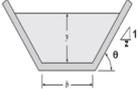
Haciendo uso del principio de continuidad podríamos definir el caudal (Q) que trastada una determinada sección hidráulica (A):

$$Q = \frac{A \cdot R_h^{(2/3)} \cdot S^{(1/2)}}{n}$$

El volumen de agua que transporta una determinada sección transversal en el tiempo se le denomina caudal como podemos apreciar en la expresión anterior, de la cual se deduce que no solo depende de la máxima sección hidráulica, sino también de las condiciones de revestimiento y conservación de la infraestructura, esto es de la rugosidad que presente el perímetro mojado del canal (Asalde, 2020).

En el análisis hidráulico de los canales de regadío de Bagua se debe tener en cuenta los elementos geométricos de los mismos (Fatehi, Hajikandi, Hassanzadeh, & Jamali, 2019), así como la disponibilidad del terreno y volumen de transporte del recurso hídrico. Los canales artificiales generalmente se diseñan con formas geométricas regulares (tabla 1), siendo la región trapezoidal la que transporta mayor volumen de fluido (Gutierrez, 2020).

Tabla 1. Análisis geométrico de los canales de regadío de Bagua capital

Tipo de canal	Perímetro mojado	Área hidráulica	Radio hidráulico
	$b + 2y$	$b \cdot y$	$\frac{b \cdot y}{b + 2y}$
	$b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$b \cdot y + z \cdot y^2$	$\frac{b \cdot y + z \cdot y^2}{b + 2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + z^2}}$

Otro principio fundamental en la hidráulica es la conservación de la energía, que da origen a la ecuación de Bernoulli, de donde se define la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección transversal referenciada respecto al fondo del canal (Deza & Castañeda, 2020), esta se denomina Energía específica (E). Este concepto fue utilizado primigeniamente en el año 1912 por Boris A. Bakhmeteff, siendo esta una adecuada estrategia para resolver situaciones problemáticas de complejas transiciones cortas teniendo en cuenta que

las pérdidas por fricción o rozamiento resultan despreciables (Cadena, Saltos, & Villalta, 2018).

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Un “indicador” que nos permitirá caracterizar el flujo de superficie libre, es el número de Froude (F) este es una constante adimensional que refleja la relevancia de las fuerzas inerciales y gravitacionales (Sánchez, Gómez, & Bladé, 2020). Donde:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$$

En la **Tabla 2**, se muestra los tipos de flujo en un canal considerando la fórmula del número de Froude (F).

Regimen	Tirante	Número de Froude	Velocidades medias
Supercrítico o rápido	$y < y_c$	$F > 1$	$V > V_c$
Crítico	$y = y_c$	$F = 1$	$V = V_c$
Subcrítico o lento	$y > y_c$	$F < 1$	$V < V_c$

Considerando la importancia de la temática desarrollada anteriormente y teniendo en cuenta la escasa infraestructura hidráulica en la provincia de Bagua, el objetivo de este trabajo de investigación fue la revisión de los factores hidráulicos de los distintos conductos abiertos existentes, ya sean naturales o artificiales, así como la elaboración de modelos matemáticos que permitan simular numéricamente el comportamiento hidráulico, y que de esta manera sirva como insumo para futuros proyectos de implementación en la zona norte de la región Amazonas-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el curso de Métodos Numéricos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua –UNIFSLB durante el año 2020 y 2021. Se considero tres fases: La primera fase consistió en la obtención de datos en campo, por medio de mediciones directas e indirectas en los canales de Bagua (Cadena et al., 2018), con respecto a la información recolectada se utilizó el software de información geográfica, en este caso Google Earth (J. Hernández & Martínez, 2019). Los datos obtenidos se organizaron en tablas donde incluía los

factores geométricos como tirantes agua, ancho de solera, talud y pendiente del canal, así mismo se aplicó principios físicos para determinar el caudal del canal aplicando el principio de continuidad (Cadena et al., 2018). Como segunda fase se realizó cálculos informáticos utilizando el lenguaje de programación Python, donde aplicando la fórmula de Manning permitió corroborar y discriminar los

Los métodos o modelos matemáticos utilizados en esta investigación están referidos al cálculo de raíces de una ecuación, diferenciación e integración numérica, así como interpolación.

Cálculo de raíces: Newton-Raphson

Dada la función diferenciable $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ y una aproximación inicial x_0 para obtener la solución a $f(x)=0$ la iteración del método de Newton está por:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Donde $f'(x_n) \neq 0$ para $n = 1, 2, 3, \dots$.

Cálculo de raíces: Interacción de Punto fijo

Establece que:

$$x_n = g(x_n)$$

para $n = 1, 2, 3, \dots$.

En este estudio se aplicó los métodos directos, donde el caudal del canal se determinó resolviendo la ecuación de Manning (Terán & Rúa, 2018).

Para esta regla dividiremos el intervalo $[a,b]$ en n subintervalos de longitud $h = \frac{b-a}{n}$

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)]$$

Siendo este el valor de la integral donde el valor de n sea siempre un número par.

Interpolación numérica: Polinomio de Lagrange

datos obtenidos y de esta manera hacer una revisión de los factores hidráulicos de los canales, como última fase metodológica se procedió a elaborar e implementar modelos o métodos matemáticos que permitan la simulación numérica y de esta forma obtener las condiciones óptimas para el funcionamiento hidráulico del canal (Ladino, García & García, 2020b).

$$Q - \frac{(b \cdot y + Z \cdot y^2) \cdot \left(\frac{b \cdot y + Z \cdot y^2}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\left(\frac{1}{2}\right)}}{n} = 0$$

Integración numérica: Regla de Simpson

Los métodos numéricos existentes para estimar el área debajo de una curva son variados, sin embargo, los más usuales y elementales como el trapezoidal y rectangular generan márgenes de error considerables, por lo tanto, planteamos como algoritmo la Regla de Simpson (Figura 1), cuya segmentación de la figura no es lineal, lo que permite un mejor ajuste y cercanía a la figura original (Peña & Rivas, 2019).

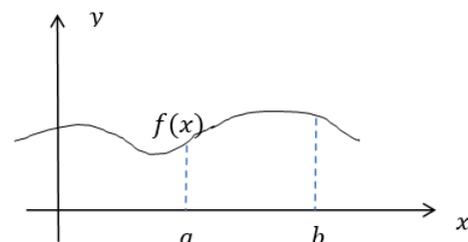


Figura 1. Integración numérica: Regla de Simpson

En algunos casos no se dispone de una ecuación o función que permita la manipulación de las variables para su respectivo cálculo, todo lo contrario, se cuenta con pares ordenados $(x_0, y_0); (x_1, y_1); \dots; (x_n, y_n)$

Métodos numéricos

El polinomio de Lagrange se expresa (Carnero, 2018):

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x)f(x)$$

Diferenciación numérica

En hidráulica, una de las mediciones directas que podemos realizar es el volumen hídrico por de una determinada sección transversal, tomando como referencia el tiempo, ambas magnitudes físicas que se relacionan con el caudal, teniendo en cuenta que este es la razón temporal de cambio del volumen $Q = \frac{dV}{dt}$ (Duran, Páez, & García, 2018).

Si conocemos los puntos $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$, los cuales se hallan equi espaciados:

RESULTADOS

En esta primera fase, se muestra el caudal que transportan los canales de regadío en Bagua suelen ser variables durante el año, conocedores de ello se registró mediciones en los meses de diciembre

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

$$x_1 = x_0 + h$$

$$x_2 = x_0 + 2h$$

$$x_3 = x_0 + 3h$$

.

.

$$x_n = x_0 + nh$$

Para el primer intervalo $[x_0, x_1]$, se evaluó numéricamente la primera derivada de la función $f'(x)$ en el punto medio del intervalo asumido: $x = x_0 + 0.5h$

$$f'(x_0 + 0.5h) = (y_1 - y_0)/h$$

(2020), abril y mayo del presente año 2021, donde se obtuvo la ubicación, clasificación y toma de datos de los factores hidráulicos de los canales abiertos (Figura 2).



Figura 2. Realizando mediciones en canales de Bagua - La Peca

En la tabla 3, se observa la clasificación y medición de los canales de regadío de Bagua, para los meses de evaluación (primera semana de diciembre 2020, tercera semana de abril 2021, segunda semana de mayo 2021).

Tabla 3. Ubicación, clasificación y medición de factores hidráulicos en canales de regadío de Bagua-Amazonas

Forma del canal y ubicación	Ancho de solera(b) en metros	Espejo de agua(T) en metros	Talud(Z)	Pendiente(S)	Tirante de agua(y) en metros	Material de construcción de canal(n)
Rectangular(Achaguay bajo) ^{***}	0.95	0.95	0	0.0048	0.23	0.014
Rectangular(Achaguay bajo) ^{**}	0.95	0.95	0	0.0045	0.03	0.014
Rectangular(Achaguay bajo) [*]	0.95	0.95	0	0.0056	0.1352	0.014
Parabólico de tierra(Peca Palacios) ^{**}	0	2.08	0	0.0123	0.261	0.050
Parabólico de tierra(Peca Palacios) ^{**}	0	3.62	0	0.0084	0.18	0.050
Trapezoidal(Amoja-Aramango) ^{***}	1.62	2.47	1.88	0.0032	0.80	0.015
Trapezoidal (San Francisco) ^{**}	0.39	0.69	1.6	0.0024	0.24	0.013
Trapezoidal(San Francisco) [*]	0.382	0.56	0.75	0.02619	0.12	0.015
Trapezoidal(La Peca) ^{**}	0.5	1.6	0.37	0.0005	0.2	0.014
Rectangular(La Peca) ^{**}	0.65	0.065	0	0.0008	0.5	0.014
Rectangular(La puntilla – Valencia) ^{**}	0.90	0.90	0	0.005	0.06	0.013
Trapezoidal (La Peca) ^{***}	0.40	0.94	1.48	0.087	0.40	0.013
Rectangular(La Peca) [*]	0.80	0.80	0	0.087	0.662	0.013
Rectangular (San Francisco) ^{**}	0.61	0.61	0	0.0026	0.23	0.014
Rectangular(Toma comunal de Bagua)	0.95	0.95	0	0.0067	0.17	0.013
Rectangular(La puntilla) ^{***}	0.94	0.94	0	0.005	0.168	0.013

*primera semana de diciembre 2020; **tercera semana de abril 2021; ***segunda semana de mayo 2021

Métodos numéricos

Factores hidráulicos como espejo de agua(T), tirante de agua(y), ancho de solera(b), Talud(Z) o pendiente(S) se obtenidas mediante mediciones directas, haciendo uso de instrumentos de medición de longitud como cintas métricas, cuya resolución o lectura mínima es el milímetro (0.001 m), así también niveles de burbuja (Figura 3).



Figura 3. Determinación de la pendiente (A); Aforo de un canal (B)

Con respecto a magnitudes físicas – hidráulicas inherentes al escurrimiento de un fluido, tal como volumen o caudal en un canal abierto, es necesario medir el aforo para lo cual en esta investigación

optamos por el método del flotador. En la tabla 4, se puede visualizar las variables físicas e hidráulicas encontradas.

Tabla 4. Variables físicas-hidráulicas obtenidas por el método del flotador y Ecuación de continuidad

Forma del canal	Longitud del tramo(L) en metros	Tiempo promedio(t) en segundos	Estimación del área hidráulica(A) en metros cuadrados	Velocidad del fluido(v) en metros por segundo	Estimación del caudal(Q) en metros cúbicos por segundo
Parabólico de tierra(Peca Palacios)*	10.00	19.800	1.8990	0.52	0.987
Rectangular(La Peca)*	10.00	14.130	0.3250	0.7077	0.2300
Trapezoidal(La Peca)*	7.00	6.3915	0.2100	1.0952	0.2300
Rectangular(Achaguay bajo)**	8.00	7.2900	0.2185	1.0970	0.2808
Rectangular(Achaguay bajo)**	5.00	10.760	0.1254	0.4647	0.0597
Rectangular(Achaguay bajo)*	9.10	7.8790	0.1284	1.1549	0.1483
Parabólico de tierra(Peca Palacios)*	15.00	21.440	3.2151	0.6996	2.2527
Rectangular (San Francisco)**	4.40	6.2520	0.1403	0.7038	0.0987
Trapezoidal (San Francisco)**	5.00	6.3080	0.2220	0.7926	0.1760
Rectangular(Toma comunal de Bagua)**	9.00	8.2800	0.1650	1.0869	0.1793
Rectangular(La puntilla)**	6.00	4.1250	0.1579	1.4117	0.2229
Trapezoidal(Amojao-Aramango)**	12.00	9.7400	1.6360	1.2320	2.0156

Figura 4, se muestra las secciones transversales en canales artificiales (diseñado en AutoCAD), los canales de regadío de Bagua resultan ser rectangular

y trapezoidal. Así mismo en la figura 5, se muestra las imágenes reales de los canales.

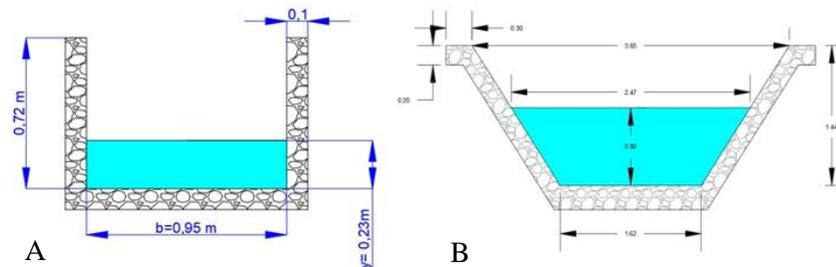


Figura 4. Sección transversal: rectangular del canal Toma Municipal (A) – trapezoidal canal del Amojao – Bagua (B).



Figura 5. Tipos de canales para regadío en Bagua capital

La segunda fase corresponde a la codificación de los programas. Como se desarrolló anteriormente, la fórmula de Manning es una expresión matemática empírica que permite determinar el caudal de un canal abierto, del cual se dispone o se conoce los elementos geométricos de la estructura hidráulica. Ya

que estos procesos matemáticos son complicados y requieren muchas interacciones para la búsqueda de soluciones, se realizaron programas en Python, así mismo se codificaron los cálculos correspondientes a la energía mínima y su relación con el caudal (Figura 6).

Métodos numéricos

```

energia_minima_especifica_caudal máximo_artículo.py
2 from tkinter import*
3 from tkinter import ttk
4 from PIL import Image
5 import numpy as np
6 import matplotlib.pyplot as plt
7 #*****FUNCIONES-BOTONES *****
8 def calcular():
9     def Q(y):
10         return Q
11         Q = ((2*0.81)**0.5)*(y*(float(ba.get())+float(z.get()))*(float(E.get())-y)**
12         h=0.005
13         cont=0
14         y=h
15         while cont<=1000 and y<=float(E.get()):
16             Lista_y.insert(str(cont),str(round(y, 2)))
17             Lista_Q.insert(str(cont),str(round(Q(y), 5)))
18             cont=cont+1
19             y=y+h
20             Lista_y.place(x=100,y=150)
21             Lista_Q.place(x=190,y=150)
22
23             Etiqueta_x=Label(ventana,text="y(m)").place(x=120,y=130)
24             Etiqueta_x=Label(ventana,text="Q(y)").place(x=210,y=130)
25
26 def cerrar():
27     ventana.destroy()
28
29 def graficar():
30
31     def Q(y):
32         Q = ((2*0.81)**0.5)*(y*(float(ba.get())+float(z.get()))*(float(E.get())-y)**
33         return Q
34
35     y=np.linspace(0.01,float(E.get()),100)
36     plt.plot(Q(y),y,"-r-",label="Caudal")
37
38     plt.xlabel("Q(y)")
39     plt.ylabel("y")
40     plt.title("Relación entre el Caudal(Q) y el tirante(y)")
41     plt.xlim(0,0.5)
42     plt.grid()
43     plt.legend(loc=1)
44     plt.show()
45
46 #*****CONFIG. VENTANA PRINCIPAL*****
47 ventana=Tk()
48 ventana.resizable(0,0)
49 ventana.title("Energía Mínima Especifica -Canal trapezoidal - UNIFSLB")
50 ventana.iconbitmap("LOGO.png.ico")
51 ventana.geometry("%450x400+100+100")
52 ventana.config(bg="cyan")
53 Lista_y=Listbox(ventana,width=10,font="Arial 12")
54 Lista_Q=Listbox(ventana,width=10,font="Arial 12")
55
56 #*****VARIABLES USADAS *****
57 z=StringVar()
58 ba=StringVar()
59 E=StringVar()
60
61 #*****ETIQUETAS INGRESO DE DATOS*****
62 etiqueta1=Label(ventana,text="Ingrese Ancho de solera(m):",bg="pink").place(x=10,y=10)
63 base=Entry(ventana,textvariable=ba,font=("calibri 14")).place(x=195,y=10)
64 etiqueta2=Label(ventana,text="Ingrese Talud:",bg="pink").place(x=10,y=40)
65 zeta=Entry(ventana,textvariable=z,font=("calibri 14")).place(x=195,y=40)
66 etiqueta3=Label(ventana,text="Ingrese Energía Mínima(m-kg/kg):",bg="pink").place(x=10,y=70)
67 energia=Entry(ventana,textvariable=E,font=("calibri 14")).place(x=195,y=70)
68
69 #*****BOTONES DE CALCULO Y CERRAR*****
70 botoncalcular=Button(ventana,font=("comics 14"),text="Calcular",fg="Blue",command=cal)
71 botongraficar=Button(ventana,font=("comics 14"),text="Graficar",fg="Blue",command=gr)
72 botoncerrar=Button(ventana,font=("comics 14"),text="Cerrar",fg="Blue",command=cerrar)
73
74 #***** ATENTO A TODOS LOS EVENTOS*****
75
76 ventana.mainloop()
    
```

Figura 6. Código fuente en Python

Figura 7, se muestra los resultados entre el caudal y el tirante, lo cual es el reflejo de ciudad de Bagua.

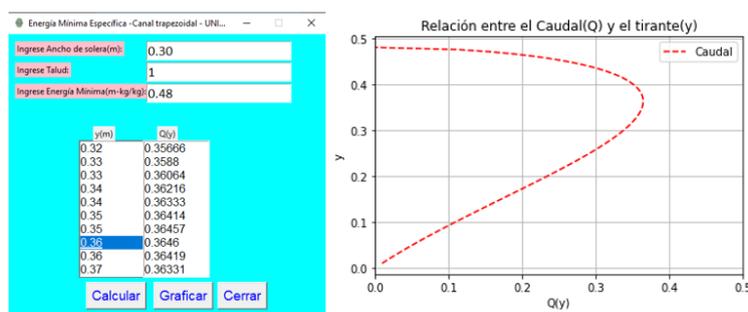


Figura 7. Interfaz gráfica del ingreso de elementos geométricos del canal (A); Relación entre el caudal y el tirante (B)

En la tercera fase se muestra las condiciones hidráulicas de los canales de Bagua, donde se procedió a elaborar modelos o métodos numéricos que permita en algunos casos validar las medidas

obtenidas por los estudiantes y en otros casos explicar el comportamiento hidráulico simulando diversos valores de variables (Figura 8).

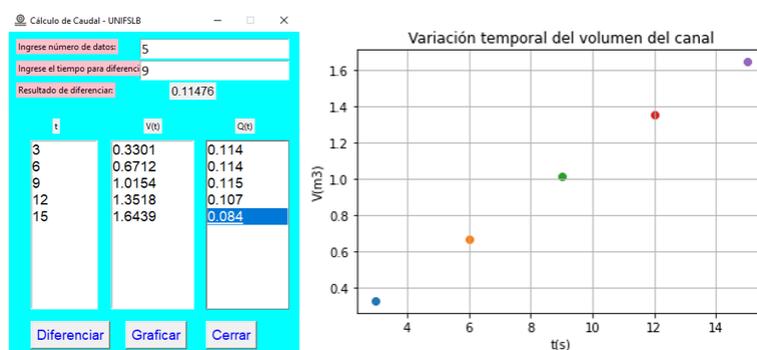


Figura 8. Interfaz gráfica del ingreso del volumen del canal y la variación temporal del volumen del canal

En la figura 9, se muestra los valores encontrados para los canales de Bagua, donde la pendiente en

campo fue de 0.00335, la velocidad superficial del fluido fue 1.097 m/s.

<p><u>PENDIENTE EN CAMPO</u></p> $S = \frac{h}{L} = 0.00335$	<p><u>VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL FLUIDO</u></p> $V = \frac{d}{t} = \frac{8m}{7.29s} = 1.097 \frac{m}{s}$	<p><u>ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL</u></p> $A = b * y = 0.95m * 0.23m = 0.2185 m^2$
<p><u>PERIMETRO MOJADO</u></p> $p = b + 2y = 0.95 + 2(0.23) = 1.41 m$	<p><u>RADIO HIDRAULICO</u></p> $R = \frac{A}{P} = \frac{0.2185}{1.41} = 0.155 m$	<p><u>CALCULAMOS EL CAUDAL Y LA VELOCIDAD EN CAMPO</u></p> $Q = V * A = 1.097 * 0.2185 = 0.2398 \frac{m^3}{s}$ $V = \frac{d}{t} = \frac{8m}{7.29s} = 1.097 \frac{m}{s}$
<p><u>APLICANDO LA ECUACIÓN DE MANNING</u></p>		
$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$ $Q = \frac{0.2185 * 0.155^{\frac{2}{3}} * 0.00335^{\frac{1}{2}}}{0.013}$ $Q = 0.28086 \frac{m^3}{s}$	$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$ $V = \frac{0.155^{\frac{2}{3}} * 0.00335^{\frac{1}{2}}}{0.013}$ $V = 1.12 \frac{m}{s}$	

Figura 9. valores encontrados para los canales de Bagua

Luego se calculó los porcentajes de error de la velocidad tanto obtenidos en campo y los valores

teóricos aplicando la ecuación de Manning (Figura 10).

$$\%E_V = \frac{|1.12 - 1.093|}{1.12} \times 100\% = 2.4\%$$

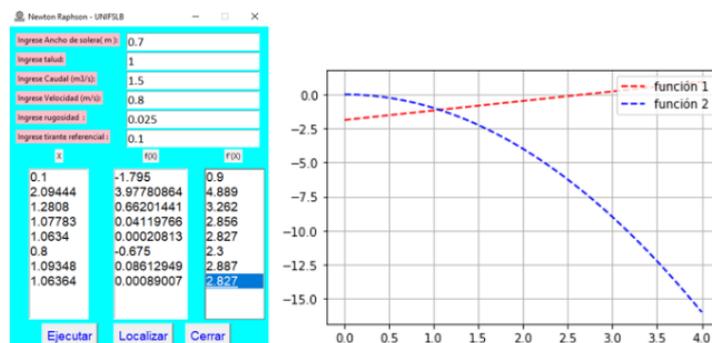


Figura 10. Solución numérica para el tirante de un canal trapezoidal

Métodos numéricos

Una de las fortalezas del lenguaje Python fue la realización de gráficos con mucha facilidad, así como el ingreso y manejo de funciones, lo que permitió codificar los métodos numéricos y la búsqueda de raíces de forma gráfica.

```
def ejecutar():
    def f(x):
        f=float(ba.get()*x-float(Q.get())/float(V.get()+float(z.get())*x**2)
        return f

    def d(x):
        d=float(ba.get()+2*float(z.get())*x
        return d

    y=float(yp.get())
    print (y)
    cont=0
    x_x=y
    while abs(f(x_x))>0.00001:
        Lista_x.insert(str(cont),str(round(x_x, 5)))
        Lista_fx.insert(str(cont),str(round(f(x_x), 8)))
        Lista_dx.insert(str(cont),str(round(d(x_x), 3)))
        cont=cont+1
        x_x=x_x-f(x_x)/d(x_x)
    Lista_x.place(x=30,y=220)
    Lista_fx.place(x=160,y=220)
    Lista_dx.place(x=300,y=220)
```

Figura 11, se muestra la interfaz gráfica para los ingresos de los elementos geométricos del canal y las curvas de energía específica.

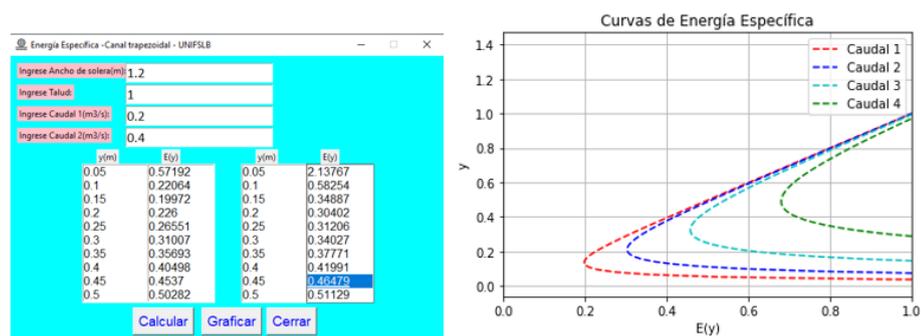


Figura 11. Solución numérica y gráfica para el tirante crítico para un determinado caudal evaluando su energía específica.

Figura 12, se muestra los resultados de canales naturales o de tierra existentes en la provincia de Bagua podríamos aproximarlos a una sección parabólica, lo cual en esas condiciones tanto el

perímetro mojado como el área hidráulica resulta producto de la evaluación de la integral de la función cuadrática, que es la que más describe su geometría del canal.

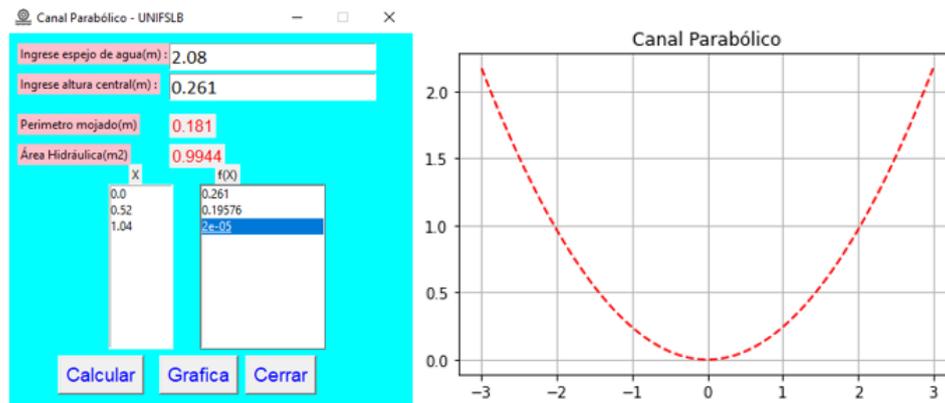


Figura 12. Integración numérica para determinar el perímetro mojado y el área hidráulica en un canal parabólico

DISCUSIÓN

El uso de un lenguaje de programación como el Python en la enseñanza del curso de métodos numéricos resultó una oportunidad propicia para traducir todos los fenómenos físico- hidráulicos en ecuaciones calculables (Lima, Cedeño, & Padilla, 2020), y de esta forma manipular variables y generar nuevos resultados de forma gráfica y numérica, lo cual le sirve para su formación profesional, y en un futuro muy cercano en su quehacer profesional de la ingeniería en la región de Amazonas y todo el Perú (Fernández de Córdova, León, Rodríguez, Martínez, & Meneses, 2018).

En la selección de los métodos numéricos referidos al cálculo de raíces (Sablón & De Arma, 2019), empleados en la presente investigación se tuvo en cuenta métodos en los cuales se requiere no un intervalo, sino más bien un punto inicial, y a partir de ello, comenzar las interacciones, sin embargo, se sugiere hacer un análisis más profundo respecto a la eficiencia y manejo de error haciendo una comparación entre métodos. Se debe advertir que, en muchos de los libros de hidráulica, los autores sugieren localizar raíces de la ecuación por el

método de “tanteo”, lo cual quita rigor matemático al proceso (Pineda & Chica, 2020).

Es necesario poner en evidencia que el estudio se realizó en una zona tropical como es la zona nororiental del Perú. Este detalle resulta importante hacerlo notar, ya que permite afinar el análisis respecto al comportamiento de la viscosidad del agua, ya que la mayoría de tablas que referencian los libros de hidráulica trabajan con valores referenciales de temperatura ambiente de otras latitudes (Caparicona, 2020).

El uso del cálculo automatizado o por medio del ordenador, despertó el interés de los estudiantes de ingeniería (Arévalo & González, 2020). La creación de sus propias aplicaciones o pequeños programas para abreviar los procesos operativos, dejaron en evidencia que el uso de un lenguaje de programación es una estrategia efectiva para generar en los estudiantes aprendizajes significativos y motivación permanente (Segarra, 2020).

Las obras hidráulicas existentes en Bagua son producto de diseño y cálculo, que a la luz de la teoría deben ser corroboradas, lo que representa una

Métodos numéricos

estrategia motivadora para los estudiantes, toda vez que encuentran más vivencial esta actividad a través de un curso que por naturaleza resulta ligado al formalismo abstracto, pese a ello los estudiantes de ingeniería civil de la UNIFSLB realizaron la labor de recolección de datos como parte del desarrollo del curso de métodos numéricos (Arévalo & González, 2020). Los algoritmos desarrollados en el presente trabajo fueron codificados en lenguaje de programación Python. La primera labor de los Se clasificó los canales según su sección transversal y se recolectó datos de variables hidráulicas de los diferentes conductos abiertos para regadío en Bagua. Se elaboró algoritmos e implementó los métodos numéricos en el lenguaje de programación Python para el cálculo hidráulico, así como la estimación de variables en diferentes condiciones.

Se comparó los valores obtenidos en campo de velocidad y caudal con las ecuaciones teóricas de

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, M., Guerra, R., & Olivares, A. (2020). Evaluación de la profundidad de recursión de la solución analítica de la ecuación de Colebrook-White en la exactitud de la predicción del factor de fricción. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 21(4), 1–15. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2020.21.4.036>
- Aponte, C. (2019). Diseño y construcción de una canaleta Parshall para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Santo Tomás (UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS). Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30431/2020carlosaponte.pdf?sequence=6>
- Arévalo, B., & González, A. (2020). Enseñanza de integrales mediante métodos numéricos por medio del uso de las TIC. *Sinergias Educativas*, 5(4), 21–34. Retrieved from <http://sinergiaseducativas.mx/index.php/revista/article/view/155/442>
- Asalde, J. (2020). Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras, en el distrito de Salas estudiantes fue solucionar por medio de nuestras aplicaciones los ejercicios propuestos en los libros de Hidráulica de canales con la finalidad de depurar la mayor cantidad de errores, y de esa forma afinar detalles para la versión definitiva, luego aplicarla a realidades de canales de Bagua (Ladino, García, & García, 2020a).
- CONCLUSIONES**
- Manning llegando a demostrar que la velocidad presenta un error relativo por debajo del 3% aproximadamente.
- Se obtuvo soluciones numéricas y gráficas del comportamiento hidráulico del canal a distintos valores de caudal, así mismo se solucionaron las ecuaciones de Manning para caudal y velocidad.
- (Universidad San Martín de Porres). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12727/6942>
- Cadena, C., Saltos, M., & Villalta, M. (2018). Comparación de tipos de flujos, para diferentes secciones de canales. (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322555700_Comparacion_de_tipos_de_flujos_para_diferentes_secciones_de_canales
- Caparicona, J. (2020). Elaboración de un programa informático de aplicación para diseño agronómico e hidráulico en el método de riego por goteo. *Revista Apathapi*, 6(2), 1935–1953. Retrieved from <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/410>
- Carnero, E. (2018). Análisis numérico de infiltración de agua en un suelo residual no saturado utilizando la curva de retención de agua. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(4), 439–450. Retrieved from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000400007

- Deza, J., & Castañeda, H. (2020). Hierofonía y matemática del canal Cumbemayo. Cajamarca. Perú. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 23(4), 67–102. <https://doi.org/http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/index>
- Duran, M., Páez, J., & García, P. (2018). Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos. *Iteckne*, 15(1), 24. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v15i1.1961>
- Fatehi, B., Hajikandi, H., Hassanzadeh, Y., & Jamali, S. (2019). Investigación experimental y analítica de los efectos de las células secundarias actuales en las características del salto hidráulico en canales trapezoidales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(3), 190–218. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-03-08>
- Fernández de Córdova, C., León, A., Rodríguez, Y., Martínez, P., & Meneses, D. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 17–31.
- González, D. (2020). Modelo hidráulico virreinal utilizado en el centro histórico de Lima para abastecimiento de agua. *Devenir*, 7(14), 91–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.21754/devenir.v7i14.811>
- Gutiérrez, E. (2020). Consideraciones mínimas para el diseño hidráulico de proyectos de infraestructura menor en canales abiertos (Universidad Peruana Unión). Retrieved from https://drive.google.com/file/d/1_IR8G2xOKhcG-2YVMyc1XXEeJ99GQQ2s/view
- Hernández, J., & Martínez, S. (2019). Tránsito de avenidas en vasos: ¿hidrológico o hidráulico? *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), 147–177. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-06>
- Hernández, Y., Rivas, R., & Feliu, V. (2020). Control automático de la distribución de agua en sistemas de riego: revisión y retos. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones I*, 41(2), 80–97. Retrieved
- Ladino, E., García, C., & García, M. (2020a). Flujo crítico en canales abiertos, solución numérica mediante el método de Newton-Raphson para aplicación Android 4.0. *Tecnura*, 24(63), 99–114. <https://doi.org/10.14483/22487638.16196>
- Ladino, E., García, C., & García, M. (2020b). LA IMPLICANCIA ECONÓMICA MEDIANTE NEWTON RAPSHON PARA EL DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID PARA EL DISEÑO DEL DIÁMETRO DE TUBERÍAS A PRESIÓN. *Aglala*, 11(1), 29–50. Retrieved from <http://revistas.curnvirtual.edu.co/index.php/aglala/article/view/1577>
- Lima, R., Cedeño, J., & Padilla, M. (2020). Aplicación de los métodos numéricos en la enseñanza superior. *Revista Sinapsis*, 1(16), 1–7. Retrieved from <https://www.itsup.edu.ec/sinapsis>
- Pantaleón, J., Pérez, P., Cordero, R., Torres, A., García, B., Castillo, H., ... Rivas, G. (2019). Determinación del coeficiente de rugosidad para encachado usado en el revestimiento de cunetas en la República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*, 38(3), 551–568.
- Peña, C., Ramírez, M., & Rivas, E. (2019). La integración numérica en la integral definida: caso de estudio. *Revista Espacios*, 40(19), 23.
- Pineda, J., & Chica, E. (2020). Métodos numéricos para el desarrollo de una turbina hidrocínética tipo Gorlov. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 187–205. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020018>
- Sablón, L., & De Arma, A. (2019). Implementación de métodos numéricos para resolución de sistemas de ecuaciones no lineales. *Ciencia & Futuro*, 9(1), 74–100. Retrieved from http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/1772
- Sánchez, E., Gómez, M., & Bladé, E. (2020). Análisis numérico 3D de las características del flujo en un canal curvo. *Ingeniería Del Agua*, 24(3), 157–169. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12276>
- Segarra, J. (2020). Análisis De Los Métodos Numéricos En Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Utilizando Mathematica. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de La Información*, 7(13), 13–23. <https://doi.org/10.21017/rimci.2020.v7.n13.a72>
- Terán, J., & Rúa, C. (2018). El método de Newton para raíces complejas. *Revista EIA*, 15(29), 97–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.24050/reia.v15i29.1131>

