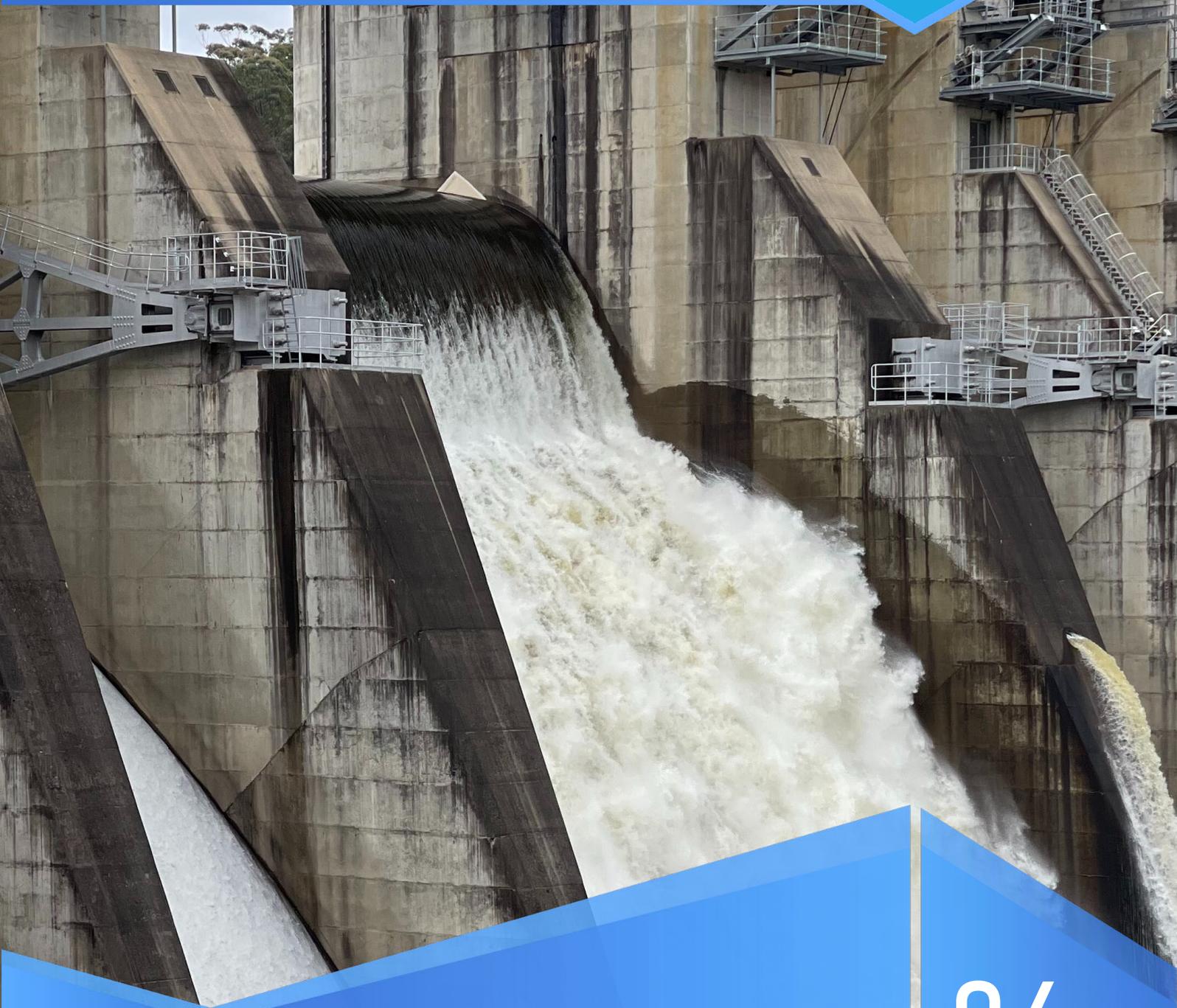


2023

INGENIERÍA

HIDRÁULICA Y AMBIENTAL



Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría,
CUJAE
Revista científica del Centro de Investigaciones Hidráulicas

ISSN 2788-6050, RNPS
2066

04
XLIV

La revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental tiene el propósito de divulgar el conocimiento y contribuir al intercambio de experiencias y la comunicación entre los profesionales y técnicos de habla española. Los temas de interés para la revista incluyen contenidos en la solución de problemas, aplicaciones y desarrollo de la ingeniería hidráulica.

Editor-Director

Dr. José Bienvenido Martínez Rodríguez

Consejo Editorial

Dra. Maray Garrido Monagas (*Directora*)

Dra. Haydee Llanusa Ruiz (*Secretaria de la publicación*)

Dr. Yoermes González Haramboure

Dr. Rafael Pardo Gómez

Dr. Norberto Marrero De León

Dr. Alcides Juan Felipe León Méndez

Dr. Armando Hernández Valdés

Consejo Asesor

Damir Brjanovic, *Instituto UNESCO-IHE, Holanda*

Daniel Prats Rico, *Universidad de Alicante, España*

Joaquín Moreno Caselles, *Universidad Miguel Enrique de Elche, España*

Nahún García Villanueva, *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México*

Raúl Lopardo, *Instituto Nacional del Agua, Argentina*

Alejandro López, *Laboratorio Nacional de Hidráulica, Santiago de Chile*

Jaime Iván Ordóñez, *Universidad Nacional de Colombia, Colombia*

Rafael Guarga Ferro, *Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental, Uruguay*

Abrahán López, *Universidad Francisco de Miranda, Venezuela*

Miguel A. Perozo Ynestroza, *Universidad Francisco de Miranda, Venezuela*

Cristóbal Díaz Morejón, *Ministerio de Ciencia Tecnología y Mediaambiente (CITMA), Cuba*

Alina Hernández Tur, *Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Cuba*

Rafael Feitó Olivera, *Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de Cuba (UNAICC), Cuba*

Julián Herrera Puebla, *Instituto de Investigación de Riego, Cuba*

Lorenzo E. Camejo Barreiro, *Universidad de Ciego de Ávila, Cuba*

Alfonso Suárez Reytor, *Universidad de Oriente, Cuba*

Eric Cabrera Estupiñán, *Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador*

Luis Córdova López, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Cuba*

Yoel Martínez González, *Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicada, Cuba*

Ronnie Torres Hugues, *Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción, Cuba*

Ifraín Osa Bernal, *HELVEX, Cuba*

Eduardo López Bastida, *Universidad de Cienfuegos, Cuba*

Javier Orccosupa, *Universidad Tecnológica del Perú, Perú*

Natividad Ramírez Ramírez, *Universidad de Guanajuato, México*

Carlos M. López Vázquez, *Instituto UNESCO-IHE, Holanda*

Julio Iván González Piedra, *Universidad de La Habana, Cuba*

Carlos Javier Fernández de Córdova Webster, *Universidad del Azuay, Ecuador*

Lamberto Alvarez Gil, *Universidad Central de Las Villas (UCLV), Cuba*

Felicita González, *Instituto de Investigación de Riego, Cuba*

Enrique Cisneros, *Instituto de Investigación de Riego, Cuba*

01	CELESTINO ORO ORTIZ ISABEL X. GARCÍA RODRÍGUEZ MANUEL CANTOS MACÍAS	APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL HIDRO ENERGÉTICO EN UNA MINI HIDROELÉCTRICA AISLADA	3 11
02	MAILÉN VIRGEN GUTIERREZ HERRERA	EL INICIO DE LOS ESTUDIOS DEL TÉCNICO SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO EN LA HABANA	12 21
03	ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES	DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA PARA EL PRONÓSTICO DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS	22 34
04	RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS FABRICIO ANTONIO RÍOS RODRÍGUEZ MIRIAM RAQUEL MOROCHO NOBOA	EFFECTOS SOCIOAMBIENTALES DE AVENIDA TORRENCIAL EN RIO PINDO, PASTAZA, ECUADOR	35 44
05	SUSANA MÁRQUEZ ROBERT ENRIQUE CECILIO CEJAS YANES	GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN UNA DISCIPLINA TÉCNICA DE OBRAS CIVILES	45 59
06	ALCIDES JUAN LEÓN MÉNDEZ JOHAN CHIRINO MONTANO	LABORATORIO VIRTUAL DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS BASADO EN CFD.	60 74
07	YASET MARTÍNEZ VALDÉS DAVID ERNESTO MARÓN DOMÍNGUEZ	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LLENADO Y/O VACIADO DE DEPÓSITOS EN SISTEMAS FUENTES POR BOMBEO	75 88

Aprovechamiento del potencial hidro energético en una mini hidroeléctrica aislada

Celestino Oro Ortiz

E-MAIL: oro@uo.edu.cu

Centro de estudio de energía. Universidad de Oriente, Cuba

Isabel X. García Rodríguez

E-MAIL: isabelx@uo.edu.cu

Departamento Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba

Manuel Cantos Macías

E-MAIL: manuelcantosmacias@gmail.com

Universidad Tecnológica de Manabí, Ecuador

RESUMEN

El trabajo presenta un estudio de caso en una instalación hidroeléctrica con problemas de agotamiento de agua. El objetivo fue evaluar el aprovechamiento del potencial hidro energético disponible aplicando una metodología integradora contribuyendo a la mejora de la eficiencia energética y el uso de los recursos hídricos en el proceso de transformación de la energía hidráulica en eléctrica. Los resultados demuestran la existencia de sobreconsumo del agua disponible y sobredimensionamiento de la transmisión mecánica, ambos constituyen problemas de operación. La solución al problema aunque sencilla aportó una metodología que integra conocimientos de dinámica de los fluidos, turbinas hidráulicas, máquinas eléctricas y elementos de máquinas. El problema analizado constituye un ejercicio integrador para la enseñanza de pregrado y postgrado en el área de Hidroenergía y el uso racional de recursos hídricos.

PALABRAS CLAVES:

aprovechamiento, aislada, mini hidroeléctrica y potencial

Exploitation of the hydro-energy potential in an isolated mini-hydroelectric

ABSTRACT

The paper presents a case study of a hydroelectric facility with water depletion problems. The objective was to evaluate the use of the available hydro-energy potential by applying an integrating methodology contributing to the improvement of energy efficiency and the use of water resources in the process of transforming hydraulic energy into electricity. The results demonstrate the existence of overconsumption of available water and oversizing of the mechanical transmission, both of which constitute operating problems. The solution to the problem, although simple, provided a methodology that integrates knowledge of fluid dynamics, hydraulic turbines, electrical machines and machine elements. The analyzed problem constitutes an integrating exercise for undergraduate and postgraduate teaching in the area of Hydroenergy and the rational use of water resources.

KEYWORDS: exploitation, isolated, mini hydroelectric and potential.

01 INTRODUCCIÓN

A escala global, la energía hidroeléctrica es la forma de energía renovable más utilizada, con más de 1,2 Tera vatios (TW) de capacidad instalada. Sin embargo, la potencia instalada a nivel mundial de las pequeñas hidroeléctricas (hasta 10 MW) se estima en 78 gigavatios (GW) en 2016. Las minicentrales representan aproximadamente el 1,9% de la capacidad total de energía del planeta (Cayetano et al. 2017).

En las mini y micro centrales hidroeléctricas autónomas ubicadas en regiones montañosas de Cuba, los consumidores no aprovechan todo el potencial energético disponible en el recurso hídrico producto de la mala calidad de la energía generada en estas centrales según las normas técnicas vigentes (Peña y Fariñas, 2020).

Las mini y micro centrales hidroeléctricas de Cuba a menudo presentan problemas de operación, las principales causas son: pobre control de la frecuencia y la potencia, así como deficiente distribución de la demanda (HIDROENERGIA, 2018). Los factores de diseño también implican problemas en la operación como: excesiva relación entre la longitud de la tubería y la carga hidráulica (L/H), momento de inercia ($GD^2/4g$) inadecuado, entre otros. Estos aspectos propician baja calidad de la energía y una baja eficiencia energética, que trae como consecuencia que los hidro grupos operen fuera de su punto de operación óptimo (Peña y Fariñas, 2020).

En este artículo se hace un estudio de caso de una mini hidroeléctrica aislada, que presenta problemas con la disponibilidad del agua para la generación (el agua se agota rápidamente), la misma presta servicio a una comunidad rural, para ello cuenta con una turbina de fabricación cubana 650X65 acoplada a un generador sincrónico de 1800 rpm.

Entre las barreras que actualmente tiene el desarrollo de la hidroenergía está la disminución de los recursos hídricos, por efectos del cambio climático. Esta futura disminución de las aportaciones hidrológicas perturbará sobre todo a las centrales hidroeléctricas de tipo fluyente, sin capacidad de regulación, traduciéndose en una disminución de horas equivalentes de funcionamiento (Cayetano, 2017).

Dos cuestiones resaltan la importancia del estudio, el uso racional del agua y la eficiencia energética de la instalación. Operar la turbina fuera de los parámetros óptimos de diseño no solo repercute en la calidad de la energía eléctrica generada, conduce entre otros problemas a un inadecuado consumo de agua.

Acerca de los métodos para lograr los parámetros óptimos en las mini hidroeléctricas aisladas se propone el almacenamiento de energía (Yadav y Mathew, 2014), empleo de sistemas híbridos (Khodadoost, 2017), regulando el caudal de agua de entrada a la turbina y la carga (Dreidy et al. 2017). Sin embargo, el proyecto y la explotación de las pequeñas centrales hidroeléctricas es el resultado de la aplicación de diferentes ciencias, resulta imposible tratar de resolverlos mediante el análisis fraccionado (Sharma and Singh, 2013).

La investigación bibliográfica realizada demuestra que el tema del aprovechamiento óptimo del potencial hidro energético depende en gran medida de la regulación de los parámetros de trabajo, lo cual resulta complejo para mini hidroeléctricas aisladas, no obstante, no existen evidencias del comportamiento de los parámetros de operación de las turbinas 650X65 en relación con el potencial hidro energético disponible para lograr su aprovechamiento eficiente.

El objetivo del trabajo fue evaluar el aprovechamiento del potencial hidro energético disponible aplicando una metodología integradora que contribuye a la mejora de la eficiencia energética en el proceso de transformación de la energía hidráulica en eléctrica.

0 2

PROCEDIMIENTO

El procedimiento empleado consistió en calcular los parámetros de diseño del equipamiento teniendo en cuenta el salto hidráulico disponible, luego se comparan los parámetros óptimos de trabajo de la turbina 650x65 (empleada en la mini hidroeléctrica), evaluando las posibles causas del agotamiento rápido del agua. Para lograr el objetivo propuesto se aplicaron los métodos de investigación y materiales siguientes:

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

- Analizador de vibraciones VibXpert II
- Cinta métrica
- Revisión documental
- Artículos de revistas
- Libros

MÉTODO MATEMÁTICO

Para determinar los parámetros de diseño de la turbina se aplicaron las ecuaciones fundamentales de hidrodinámica y el criterio de semejanza (Mataix, 1989):

La velocidad del chorro de agua que sale del inyector de la turbina, se determina (1)

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad (1)$$

Donde:

φ -Coeficiente de la tobera (0,97-0,99)

V -Velocidad absoluta del chorro (m/s)

g - Aceleración de la gravedad

H - Altura hidráulica neta (m)

El caudal volumétrico de agua, se determina (2)

$$Q = V \cdot A_{ch} \quad (2)$$

Donde:

Q -Caudal volumétrico (m³/s)

A_{ch} -Área del chorro (m²)

El diámetro del chorro, se determina (3)

$$d_{ch} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (3)$$

La velocidad específica de la turbina, se determina (4)

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (4)$$

Donde

n_s -Velocidad específica

P -potencia de salida en kW

n -Velocidad de rotación de la turbina rpm

H -carga hidráulica en m

El torque desarrollado por la turbina, se determina (5)

$$T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot r(V - U)(1 - \cos \beta) \quad (5)$$

Donde:

T -Torque que desarrolla la turbina

V -velocidad absoluta del chorro (m/s)

U -Velocidad tangencial (m/s)

Q - Caudal volumétrico (m³/s)

ρ -densidad del agua (kg/m³)

r - radio del rodete (m)

g - Constante de gravitación (9,81 m/s²)

β - Angulo de incidencia del chorro en el alabe

La potencia de salida, se determina (6)

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_0 \quad (6)$$

Donde

P -Potencia de salida (W)

Q - Caudal volumétrico (m³/s)

ρ -densidad del agua (kg/m³)

g - Constante de gravitación (9,81 m/s²)

H - Altura hidráulica neta (m)

η_0 - Eficiencia global

La Ley de la carga hidráulica neta, según (7)

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{H_1}{H_2} \quad (7)$$

Donde

n_1 -Numero de revoluciones de la turbina en el estado 1

n_2 - Numero de revoluciones de la turbina en el estado 2

H_1 -Carga hidráulica neta en el estado 1

H_2 -Carga hidráulica neta en el estado 2

La Ley del Caudal volumétrico (8)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \quad (8)$$

Donde

Q_1 - Caudal volumétrico en el estado 1

Q_2 -Caudal volumétrico en el estado 2

La Ley de la Potencia en el eje de la turbina (9)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 \quad (9)$$

Donde

P - Potencia de salida para el estado 1 y 2

En (7)-(8) y (9) los subíndices 1 y 2 identificados como estado 1 y 2, corresponden en el primer caso a las revoluciones por minuto óptimas tomadas del catálogo emitido por el fabricante de la turbina y el segundo caso a las obtenidas en la investigación de campo mediante el analizador de vibraciones.

Se verifica la relación de transmisión según (10)

$$i_t = \frac{n_T}{n_G} = \frac{D_G}{D_T} \quad (10)$$

Donde

i_t -Relación de transmisión

n_T -Número de revoluciones de la turbina

n_G -Número de revoluciones del generador

D_T -Diámetro de la Polea de la turbina

D_G -Diámetro de la Polea del generador

El diámetro de las poleas de la turbina y del generador eléctrico se obtiene en la investigación de campo empleando la cinta métrica.

03

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA TURBINA

El resultado de aplicar (1)-(2)-(3) y (4) teniendo en cuenta una carga hidráulica neta de 100 metros:

- Velocidad del chorro 42,96 m/s
- Diámetro del chorro es 0,0646 m
- Caudal volumétrico 142,6 L³/s

- Velocidad específica 20,1 rpm

Mediante la revisión documental se obtiene la característica de trabajo de la turbina de fabricación cubana 650X65, la tabla 1 muestra los parámetros óptimos para un salto hidráulico de 100 m dada por Madruga et al. (1986).

Tabla 1. Parámetros óptimos de la turbina 650X65.

Salto(m)	Caudal (L/s)	Potencia (kW)	Velocidad de rotación (r.p.m)
100	141,2	117,74	586

PARÁMETROS EN OPERACIÓN

Empleando el analizador de vibraciones VibXpert II, se obtuvo el diagrama que muestra el espectro de velocidad de vibración de la turbina, en la figura 1, se observa que la turbina gira a una velocidad angular de 650 r.p.m

Aplicando (5)-(6)-(7)-(8) y (9) se obtiene:

- Incremento del Caudal 1,11 veces.
- Incremento de la potencia en el eje 1,37 veces.

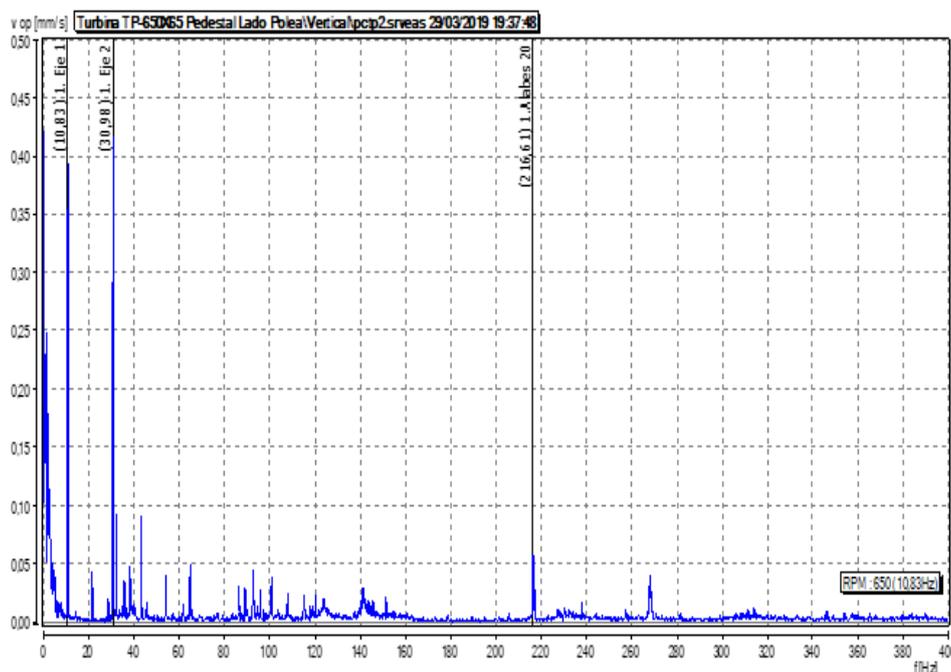


Figura 1. Espectro de velocidad de vibración de la turbina

PARÁMETROS DE LA TRANSMISIÓN

Fueron medidos con la cinta métrica el diámetro de la polea de la turbina y del generador eléctrico, el resultado se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Diámetro de las poleas de la transmisión

Polea de la turbina (mm)	Polea del generador (mm)
915	320

Empleando (8), se obtiene un valor de relación de transmisión de 0,35.

DISCUSIÓN

El valor de la velocidad específica obtenido (20,1 rpm) corresponde a una turbina Pelton de un inyector. La velocidad específica para las Turbinas Pelton de un inyector se encuentra en el rango 5-30 rpm (Fernández, 2017). La Turbina 650X65 es una turbina Pelton de un inyector, los resultados demuestran que es la apropiada para la instalación objeto de estudio. Descartándose la posibilidad de que una inadecuada selección de la máquina incida en el agotamiento del agua que se produce actualmente en la mini hidroeléctrica.

La turbina a máxima carga gira a una velocidad angular de 650 r.p.m. La turbina 650X65 es de fabricación cubana y su documentación técnica data de la década de los 80, Madruga et al. (1986) muestran que, una turbina 650x65 con un salto de 100 m, un caudal de 141,2 L/s y una potencia de 117,74 kW tiene una velocidad óptima de 586 r.p.m. Las turbinas se diseñan para un valor de carga y gasto predeterminados que definen su zona de operación por tanto cualquier variación de estos parámetros se compensa abriendo o cerrando los dispositivos de control del gasto (Peña y Fariñas 2020). Al respecto Fernández (2017) plantea, cuando el salto neto (carga hidráulica neta) es constante, el caudal es rigurosamente independiente de la velocidad angular, solamente depende del grado apertura del inyector. Este análisis evidencia problemas de operación, siendo el grado de apertura del inyector, la causa de sobreconsumo de agua en la instalación.

La relación de transmisión es de 0,35. Según el criterio de Coz et al. (1996) ese valor es elevado, los autores plantean que en las mini hidroeléctricas aisladas cuando se usan generadores asincrónicos la relación de transmisión no debe ser mayor de 0,25. Acerca del funcionamiento de los generadores asincrónicos Eraso y Escobar (2018) explican que, a mayor velocidad del rotor, mayor es la potencia que puede generar la máquina. Otro punto de vista es el de Fernández (2017) que plantea, el comportamiento del torque con relación a la velocidad de rotación de la turbina es parabólico, desde el arranque hasta cierto valor óptimo (máximo valor de velocidad), el torque se incrementa, posteriormente un incremento de velocidad no garantiza un incremento del torque. Estas consideraciones demuestran en primer lugar que una relación de transmisión de 0,25 garantizará mayor potencia eléctrica en el generador y en segundo lugar que mantener la turbina trabajando a 650 rpm, no garantiza un incremento de potencia en el generador eléctrico.

A los efectos del estudio se identifican como potencial hidro energético: la carga hidráulica neta, el caudal volumétrico y la potencia de salida. La elección de la tecnología de la turbina está dictada por los parámetros hidráulicos y topográficos y, por lo tanto, es altamente inflexible (Peña y Fariñas, 2020). Independientemente de la necesidad de actualizar los estudios hidrológicos del sitio en que se encuentra ubicada la turbina objeto de estudio debido a los posibles efectos del cambio climático, el estudio realizado demuestra que en la instalación objeto de estudio existen problemas de operación (grado de apertura del inyector) que incide en el sobreconsumo del agua disponible en las condiciones actuales y el sobredimensionamiento de la transmisión mecánica que incide en la potencia entregada por el generador eléctrico.

Muchas mini centrales hidroeléctricas en Cuba prestan servicio eléctrico a zonas rurales, algunas aisladas y sin embalse regulador, sin embargo la mayor cantidad de investigaciones existentes en esta área del conocimiento se enmarca en el control automático de los parámetros de operación, sin embargo, los factores que inciden en el aprovechamiento eficiente del potencial hidroenergético tienen un carácter multifactorial.

La investigación realizada aporta una metodología interdisciplinaria para evaluar el aprovechamiento del potencial hidroenergético en una instalación aislada y un ejercicio integrador para la enseñanza de pregrado y postgrado en el área de Hidroenergía, ambas constituyen soluciones

interesantes ante los desafíos que se presentan en el área de la energía renovable y el uso racional de los recursos hídricos.

04 CONCLUSIONES

Se evidencia un sobreconsumo de agua debido a problemas de operación relacionados con el grado de apertura del inyector.

Se demostró la existencia de sobredimensionamiento en la transmisión mecánica.

Se presenta la solución de un problema integrador para la enseñanza de pregrado o postgrado en el área del conocimiento en Hidroenergía.

04 REFERENCIAS

- Cayetano E., Marín García R. y Aparicio A.** (2017). "El surgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual. Revista de Geografía Norte Grande, ISSN 0718-3402, No 67: 115-143. España
- Peña L. y Fariñas E.** (2020). "Mejoras en la eficiencia energética de las mini hidroeléctricas aisladas mediante la regulación combinada flujo-carga lastre". Revista Ingeniería Energética, ISSN 1815-5901, vol 21. Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba.
- HIDROENERGÍA** 2018. "Estado de las Instalaciones actualizado 30-12-2018". Reporte Interno. Empresa de Hidroenergía: Unión Eléctrica. Cuba. Disponible en: <https://webstore.iea.org/download/tableofcontents/1173>
- Yadav R.K. and Mathew L.** (2014). "Load Frequency control of an Isolated Small Hydro Power Plant with Reduction in Dump Load Rating By Using Variable Structure Control". International Journal of Engineering Science Invention. ISSN 2319-6734, V3, p.8-15.EU.
- Khodadoost A., Karami H., Gharehpetian G. and Hejazi M.** (2017). "Review of Flywheel Energy Storage Systems structures and applications in power systems and microgrids". Renewable and Sustainable Energy Reviews. ISSN 1364-0321 v.69, p.9-18. Teheran, Iran. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.166>
- Dreidy M., Mokhlis H. and Mekhilef S.** (2017). "Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, ISSN 1364-0321 V.69, p.144-155. Malaysia. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.170>
- Sharma H. and Singh J.** (2013). "Run off River Plant: Status and Prospects". International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). ISSN 2278-3075, Volume 3, p. 210-213. Issue-2, Canada.
- Mataix C.** (1989). "Mecánica de los fluidos y maquinas hidráulicas". Segunda edición. Ediciones del Castillo S.A., p.pp.355-486. México. ISBN:84-219-0175-3

- Madruga E., Fernández A. y Ledon N.** (1986). "Turbinas de fabricación cubanas". Revista Energía., No 4, p. 2-4. Cuba. ISSN 0138-8266
- Fernández Díez P.** (2017). "Turbinas Hidráulicas". Biblioteca sobre ingeniería energética. Universidad de Cantabria, p.pp35-52.España http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf
- Peña L., Fariñas E., Domínguez H. y Fon J.** (2020). "Ajuste del punto de operación de micro-turbinas hidráulicas a través del método de regulación de velocidad combinada". Revista Tecnología Química, vol.40, No.1, p. (152-168).Cuba. ISBN: 2224-6585
- Coz F., Sánchez T., Vianni B., Segura J., Rodríguez L., Miranda H., Castromonte E., Guerra J., Quiroz L., Gaitan J., Moreno L. y Muñoz J.**(1996). "Manual de mini y microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos". 1ra edición. Intermediate Technology Development Group, ITDG, ISBN:1853392782; p.pp131-177.Peru
- Eraso F. y Escobar E.** (2018). "Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño". Revista Científica, ISSN 2344-8350, vol. 1 (31), pp.19-31.Bogota, Colombia. <https://doi.org/10.14483/23448350.12304>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Celestino Oro Ortiz <https://orcid.org/0000-0002-5482-5070>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y en la revisión y redacción del informe final.

Isabel Xiomara García Rodríguez <https://orcid.org/0000-0003-00080-2612>

Trabajó en el procesamiento de los datos haciendo contribuciones en su análisis e interpretación. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final.

Manuel Cantos Macías <https://orcid.org/0000-0001-7589-0210>

Trabajó en el procesamiento de los datos haciendo contribuciones en su análisis e interpretación. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final.

El inicio de los estudios del Técnico Superior en Agua y Saneamiento en La Habana

Mailén Virgen Gutierrez Herrera E-MAIL: mailengh77@gmail.com

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

RESUMEN

El objetivo planteado fue describir el proceso de planificación y organización del inicio de los estudios del Técnico Superior en Agua y Saneamiento hasta el Ejercicio de Culminación de Estudio, en La Habana. La investigación posee un enfoque cualitativo; la muestra fue no probabilística “por conveniencia”. El análisis se hizo a partir de las valoraciones dadas por los estudiantes, la observación participante de la autora, el análisis de documentos, fotografías, anotaciones personales y entrevistas a profesores del colectivo de carrera. El enfoque predominante que caracterizó esta formación fue de carácter teórico-práctico. Se les dio solución a 17 problemas profesionales identificado dentro del banco de problema de la empresa donde pertenece el estudiante, y respondieron a los avances científicos, técnicos y tecnológico del sector del Agua y el Saneamiento en Cuba.

PALABRAS CLAVES: carácter teórico-práctico, estudiantes, problemas profesionales, Técnico Superior en Agua y Saneamiento

The beginning of the studies of the Higher Technician in Water and Sanitation in Havana

ABSTRACT

The objective set was to describe the planning and organization process from the beginning of the studies of the Higher Technician in Water and Sanitation until the Study Completion Exercise, in Havana. The research has a qualitative approach; The sample was non-probabilistic “for convenience”. The analysis was done based on the evaluations given by the students, the author's participant observation, the analysis of documents, photographs, personal notes and interviews with professors from the career group. The predominant approach that characterized this training was theoretical-practical in nature. They were given solutions to 17 professional problems identified within the problem bank of the company where the student belongs, and responded to the scientific, technical and technological advances in the Water and Sanitation sector in Cuba.

KEYWORDS: theoretical-practical nature, students, professional problems, Higher Technician in Water and Sanitation.

01 INTRODUCCIÓN

La demanda a nivel nacional de servicios especializados en el sector hidráulico en Cuba, van dirigidas esencialmente a mitigar los efectos de la sequía y otros eventos hidrometeorológicos extremos, así como, mejorar la deteriorada situación de los servicios de abasto y saneamiento. A pesar de permanecer los estudios de Técnico Medio en Hidráulica y del Ingeniero Hidráulico (3,5 y 4 años de duración respectivamente), se necesita una respuesta más ágil y rápida en cuanto a la formación de personal calificado, con una preparación mayor a la de técnico medio e inferior a la del graduado de una carrera universitaria.

En este sentido, la Educación Superior cubana, determinó la necesidad de institucionalizar como un subsistema el Nivel de Educación Superior de Ciclo Corto (ESCC), reconocido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (Minjus, 2018).

A partir de esta fecha inicia el proceso para la creación de una nueva carrera: Técnico Superior en Agua y Saneamiento (entre otras), que se aprueba en febrero del año 2020, y tiene como Centro Rector a la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA). Debido a la llegada del Coronavirus SARS-Cov-2 (COVID-19), es que comienza en noviembre de 2021 los estudios, de manera presencial en La Habana, de su primera edición.

A partir del análisis de documentos se han visualizado estudios dirigidos a la evolución del modelo del profesional, y la génesis del ingeniero hidráulico; recientemente los autores Velázquez, Fraga y Lau (2022) presentaron un artículo acerca del proceso de creación de una Política Pública para el establecimiento de la ESCC en Cuba, sin embargo, no se devela ninguna especificidad que refiera acerca de las particularidades del inicio de una carrera de Ciclo Corto, por ser esta una carrera de nueva creación en Cuba.

Los hechos suelen verse de manera diferente cuando lo escriben sus protagonistas basados en sus propias experiencias. Quienes escriben desde el interior de los acontecimientos vividos conocen los debates sobre los caminos alternativos en cada momento, y saben de la movilización de voluntades y emociones, de las que generalmente no queda constancia escrita. Es precisamente, lo que la autora de este artículo se traza como objetivo: describir el proceso de planificación y organización del inicio de los estudios del Técnico Superior en Agua y Saneamiento en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae hasta el Ejercicio de Culminación de Estudio.

Esta investigación posee un enfoque cualitativo, ya que se orienta en comprender el proceso educativo desde la perspectiva de los estudiantes como actores principales, en un ambiente natural en estrecha relación con su contexto. En lo metodológico tuvo en cuenta una muestra no probabilística “por conveniencia” de 29 sujetos, 18 documentos: 17 informes de Ejercicio de Culminación de Estudio y el plan de estudio de la carrera en cuestión. El análisis se hizo a partir de las valoraciones dadas por los estudiantes de su proceso de formación, la observación participante de la autora, el análisis de documentos, fotografías, anotaciones personales y entrevistas a profesores del colectivo de carrera.

02 DISEÑO CURRICULAR DEL TÉCNICO SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO

La heterogeneidad de criterios acerca de la esencia del diseño curricular, indicó la necesidad del análisis de sus propiedades esenciales, en esta diversidad aparecen como cualidades: la

estructuración y organización de los componentes del currículo, el ordenamiento, los procesos de planificación y toma de decisiones, el proyecto que guía las actividades, y documentos; cualidades que se sustentan desde la Teoría Curricular o la Didáctica (Gutierrez, 2018).

Como parte de ese proceso de planificación y toma de decisiones, en fecha tan temprana como el 11 de diciembre de 2019, se reúnen en la UNICA los miembros de la Comisión Nacional del Programa de Formación de Nivel de ESCC “Agua y Saneamiento”; son miembro de la misma, profesores de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae), la Universidad Central de Las Villas “Marta Abreu” (UCLV), la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya” (UHo), la Universidad de Oriente (UO), y como Centro Rector la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” (UNICA); además, profesionales de la Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE) Agua y Saneamiento.

En esta primera reunión se contó con la asesoría técnica docente de la Dirección de Formación de Profesionales de Pregrado del Ministerio de Educación Superior (MES), quienes expusieron algunas consideraciones generales. Su punto de partida fue abordar acerca de la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE) aprobada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), donde se establece el Nivel CINE 5 (Educación Terciaria de Ciclo Corto), el Nivel Cine 6 (Grado en educación terciaria o nivel equivalente), el Nivel CINE 7 (nivel de maestría, especialización o equivalente), y el Nivel CINE 8 (Nivel de doctorado o equivalente). Se explican las pautas generales a tener en cuenta para el diseño curricular de este programa (MES, 2019).

En una segunda reunión, el 4 y 5 de febrero de 2020, en la UNICA, se sumaron a la elaboración del programa, la Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz” (UC), la Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” (UNAH), y la Universidad de Granma (UDG); esta última recibirá la asesoría metodológica de la UO.

En un principio, se inicia para los trabajadores de la OSDE Agua y Saneamiento, cautivo en curso por encuentros, y posteriormente (a largo plazo) se ofrecerán para los estudiantes del Preuniversitario, en curso regular diurno.

El 7 de marzo del 2020, en la Universidad de La Habana se realiza el acto de defensa pública, en un tribunal integrado por los principales organismos empleadores, en este caso la OSDE Agua y Saneamiento, y las universidades del país que iniciaron con la formación de este profesional (Cujae, UCLV, UNICA, UHo, y la UO), sustentada en una formación política, económica, ciudadana y ambiental acorde con la función social que desempeña.

En la actualidad esta carrera de ciclo corto en Cuba, se ha extendido en todo el país, y se imparte, además de las cinco antes mencionadas, en las universidades enclavadas en los territorios de Pinar del Río, Mayabeque, Matanzas, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Camagüey, Las Tunas, Granma, Guantánamo y el municipio especial Isla de la Juventud.

La ESCC se muestra como un terreno insuficientemente investigado, signado además por un acentuado desconocimiento. En síntesis, muchos interrogantes se abren en torno a la propia definición, así como la pertinencia del nivel en la cadena de la formación permanente y en la búsqueda de la igualdad. Corresponde a futuras y próximas investigaciones, divulgar las particularidades de la formación de este necesario profesional de las próximas graduaciones en la Cujae.

0 ORGANIZACIÓN DEL PRIMER CURSO DEL TÉCNICO SUPERIOR EN 3 AGUA Y SANEAMIENTO EN LA CUJAE

En la primera reunión realizada en la UNICA el 11 de diciembre de 2019, el presidente de la OSDE Agua y Saneamiento, Ing. Abel Elpidio Salas García, expresó su compromiso para la incorporación de los especialistas de la producción, de subordinación de su Organización, a formar parte del colectivo de carrera en esta noble tarea.

Para nadie es un secreto el déficit de profesores que poseen las universidades del país, provocado en gran medida, por las ofertas económicas del sector no estatal y la longevidad avanzada de los formadores insignes; como medida organizativa, esta OSDE apoyó en la preparación del personal docente con la identificación, inicialmente de 26 de sus profesionales, dispuestos a categorizarse docentemente, los que se han ido incorporando sistemáticamente.

Lo anterior demandó de acciones en el orden metodológico, que posibilitara iniciar de forma gradual dicho Programa de Ciclo Corto, conforme a las concepciones y pautas de este nivel educacional.

En el mes de noviembre de 2020, se comenzó en un aula de la Universidad de La Habana, la primera edición de un curso de “Didáctica Básica para Profesores de Ciclo Corto de Agua y Saneamiento”, auspiciado por el Centro de Referencia para la Educación de Avanzada (CREA) y con la colaboración del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), ambos de la Cujae, con la conducción de las profesoras titulares: Raquel Bermúdez Morris y Mailén Virgen Gutierrez Herrera; en el mes de diciembre del propio año se realizó una segunda edición.

En ese momento el país estaba en la prevención, el enfrentamiento y control del nuevo Coronavirus COVID-19, y dicho curso se realizó de acuerdo con las orientaciones epidemiológicas especiales orientadas por las autoridades competentes. Además, se cumplía con lo dispuesto en la Resolución No.98 de 2018 del MES, donde se expresa que se debe “contar con especialistas de la producción con elevada preparación y experiencia” (MES,2018).

Paralelo a lo antes expuesto, el tribunal nombrado al efecto (del departamento de Ingeniería Hidráulica en la Cujae) se encontraba en el proceso de análisis para el otorgamiento de las categorías docentes, evaluándose el cumplimiento de los requisitos y los ejercicios establecidos a tenor de lo dispuesto en la Resolución No. 85 de 2016 (MES, 2016); a partir de marzo de 2021 se comenzó con las presentaciones ante el tribunal, por parte de los futuros docentes que lo acreditan como profesores universitarios.

Es necesario puntualizar que los profesores que imparten la docencia en las asignaturas: Matemática, Fundamentos de la Construcción del Socialismo en Cuba I y II, y Física realizaron el proceso antes mencionado, con el tribunal nombrado al efecto, en este caso, para la asignatura correspondiente, pertenecientes al Instituto de Ciencias Básicas de la Cujae.

Posteriormente, se realizó un primer encuentro en Aguas de La Habana el 7 de enero de 2021, con los matriculados en esta novel carrera; participaron por la Cujae: el Dr.C. Yaset Martínez Valdés (Jefe del Departamento de Ingeniería Hidráulica), y la Dr.C. Mailén Virgen Gutierrez Herrera (Coordinadora del colectivo de carrera); y por la OSDE Agua y Saneamiento la Ing. Cosset Torres Tondike (Vicepresidenta Primera) y la Dr.C. Hilda Rosa León Castellanos (Directora de Formación e Innovación). Esta reunión estuvo liderada por la decana de la Facultad de Civil, la Dr.C. Odalys Álvarez Rodríguez.

En este encuentro se les explicó todo lo relacionado con la carrera, las particularidades del proceso docente-educativo, la estructura de la Cujae y de la Facultad de Civil, algunas normativas vigentes y de manera general la vida interna en la universidad, así como, todo lo relacionado con el tránsito como estudiante hasta el egreso. Solo quedaba ultimar detalles para el inicio de tan esperado curso escolar.

Los estudiantes se incorporan a la mayoría de los Programas de Ciclos Corto con carencias en matemáticas, lectura y escritura, por lo que en la mayoría se conciben actividades de nivelación (Ferreira, Dinarte, Urzúa y Bassi, 2021). Particularmente en esta primera edición, para este Programa de Ciclo Corto en Agua y Saneamiento en la Cujae, se impartió un curso a distancia de Introducción a las Matemáticas, fungieron como profesor los estudiantes de Ingeniería Civil Saúl David Martínez González y Daniel Díaz Aguiar; ambos con una destacada trayectoria integral, con aptitudes favorables para el desempeño de la docencia (MES, 2022).

El 22 de noviembre de 2021 se inicia la docencia de manera presencial, concentrándose los estudiantes una semana en el mes con doble sesión de clases, con las asignaturas aprobadas en el plan de estudio para este primer periodo del primer año: Matemática; Física; Fundamentos de la Construcción del Socialismo en Cuba I; Fundamentos Básicos de Preparación para la Defensa; Introducción al Estudio de los Sistemas de Agua y Saneamiento; y Representación Gráfica. En el segundo periodo: Fundamentos de la Construcción del Socialismo en Cuba II, Topografía Aplicada, Maquinaria para Construcciones Hidráulicas, Herramientas Computacionales Aplicadas a la Especialidad, Hidráulica Básica, y la optativa 1 Proceso Inversionista, (MES, 2020).

Dentro de los aspectos a tener en cuenta en la implementación de este Nivel de ESCC, se enuncia que debe predominar un enfoque teórico-práctico (MES, 2018). Por ser este un curso por encuentro, desarrollado en la modalidad semipresencial en el que todos los estudiantes tienen un vínculo laboral, en este caso en las entidades productivas o de servicios destinadas al abasto de agua potable y el saneamiento, no se concibió como parte del diseño curricular la asignatura Práctica Laboral, y si para el curso regular diurno.

Por lo antes expuesto, es válido aclarar, que se intensificaron acciones que favorecieron la motivación por la profesión, el análisis crítico, el trabajo en equipo, la adquisición de habilidades prácticas profesionales, entre otras (MES, 2022), integrándose al proceso docente-educativo como elemento de vital importancia para la formación integral de los estudiantes; estas acciones, concretamente fueron visitas técnicas y estuvieron vinculada con una asignatura en específico de las diseñadas en el plan de estudio, de las que se detalla a continuación.

En primer año, la profesora de la asignatura Fundamentos de la Construcción del Socialismo en Cuba I, coordinó una visita al Bosque Martiano del Ariguanabo en la carretera San Antonio de los Baños, provincia Artemisa, en el que se vinculó un tema de la asignatura relacionado con el ideario martiano y las características del lugar.

En las asignaturas Introducción al Estudio de los Sistemas de Agua y Saneamiento, y Representación Gráfica, los profesores los llevaron a la fuente de abasto de agua: Cosculluela y a la de Vento, ambas en La Habana, resaltándose en esencia, la importancia de los sistemas de abasto y la calidad del agua para el consumo humano, así como, la representación de elementos y planos simples de objetos de obras, contribuyéndose con el desarrollo de las formas del pensamiento lógico y la imaginación espacial.

Como parte de la asignatura Fundamentos de la Construcción del Socialismo en Cuba II, se visitó el Centro de Fidel Castro Ruz, en La Habana; esta vez se vinculó la visita con el tema: la agresión

norteamericana por Playa Girón y la defensa del ideal socialista, lo que posibilitó complementar el objetivo declarado en el programa de la asignatura relacionado con la valoración de hechos, procesos, documentos, y personalidades de la construcción del socialismo en Cuba. Los estudiantes se sintieron motivados, ya que debían entregar una tarea, que con esta experiencia les fue más fácil de analizar y familiarizarse desde su carrera de estudio.

La asignatura Topografía Aplicada también, traspasó los límites del aula, realizándose mediciones en el terreno de los alrededores de las instalaciones de la Cujae, como parte del trabajo de campo previsto en el diseño del programa de la asignatura, efectuándose actividades de medición de ángulos, distancias y desniveles con el empleo de instrumentos de topografía clásica (cintas, niveles y teodolitos).

En segundo año las asignaturas previstas fueron: Mantenimiento y Rehabilitación de Sistemas Hidráulicos, Tecnología de la Construcción, Sistemas de Bombeo, Operación de Redes Hidráulicas, Tecnologías para la Potabilización del Agua, la optativa 2 Metodología de la Investigación Científica, Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales, Hidrometría, Sectorización de Redes de Abasto de Agua, y Estructuras Hidráulicas de Hormigón Armado; esta primera edición de este Programa de Ciclo Corto, visitó el Taller de Reparación de Bombas de Agua en San José de las Lajas, en la provincia Mayabeque, como parte de la asignatura Sistemas de Bombeo, pudiéndose ver en el mismo (en síntesis) ejemplo de causas de los fallos más comunes que atentan contra la explotación eficiente de los sistemas de bombeo.

Durante el desarrollo de la asignatura Tecnologías para la Potabilización del Agua, se volvió a visitar la fuente de abasto de agua de Vento, lo que posibilitó a los estudiantes valorar el comportamiento de los sistemas de tratamiento y las acciones para su manejo adecuado.

Otra visita fue realizada a la empresa Hidroplast, de La Habana; los estudiantes pudieron apreciar algunos de los productos de esta empresa, lo que les facilitó la comprensión del uso de diversos materiales actuales que se utilizan en la construcción de sistemas de agua y saneamiento.

El profesor les argumentó que el destino de estas tuberías elaboradas en esta empresa es, fundamentalmente, para las inversiones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Sus productos tienen una vida útil de 50 años y su uso va desde el trasiego de agua potable, hasta conducción de líquidos o gases a bajas temperaturas, entre otras aplicaciones (Silva, 2022).

Durante la impartición de la asignatura Hidrometría se efectuó un recorrido por la fábrica de metros contadores de la empresa Militar Yuri Gagarin; el profesor les habló acerca del control hidrométrico en los sistemas de abasto de agua, entre otros aspectos.

Más allá del límite geográfico de La Habana, llegaron los estudiantes con la asignatura Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales, al visitar la Planta de Tratamiento de Residuales Las Conchas, en el antiguo municipio Varadero (hoy Cárdenas) en Matanzas. De manera general visualizaron los sistemas de tratamiento biológico de las aguas residuales y la disposición adecuada de las aguas tratadas.

El último recorrido durante su paso por la universidad lo realizaron en Aguas de La Habana, los que desde la asignatura Mantenimiento y Rehabilitación de Sistemas Hidráulicos, pudieron apreciar el uso de las nuevas tecnologías y cómo los especialistas enfrentan a diario diversos problemas que se presentan en las redes de conducción y distribución de agua.

La evaluación del Ejercicio de Culminación de Estudio (ECE) fue un Ejercicio Profesional (MES, 2020), en el que el estudiante debe escribir en un informe final, la necesidad de la producción y los servicios identificada dentro del banco de problema y la solución de la tarea laboral que se propone.

Constituye una barrera para ellos este último ejercicio, ya que evidencian carencias en el manejo correcto de la ortografía, la redacción y la expresión oral, y se debe cumplir y exigir esto en todos los procesos formativos de la educación superior, en todas las actividades y evaluaciones (MES, 2023).

Lo anterior motivó al colectivo de carrera a planificar talleres a partir de abril de 2023 para este Ejercicio Profesional, como último requisito para la obtención del título que los acredita como Técnicos Superior en Agua y Saneamiento. En estos talleres lo que se quiere es que el estudiante aplique los conocimientos adquiridos, se contribuya al desarrollo de habilidades prácticas profesionales, así como, a la solución de problemas propios de la profesión a partir del vínculo entre los componentes académicos, investigativo y laboral. Igualmente se propicia el trabajo en grupo, para el grupo y con la ayuda del grupo (MES, 2022).

Se realizaron dos talleres donde los estudiantes expusieron sus propuestas, a partir del problema profesional identificado en su centro laboral; una vez emitidas las sugerencias por profesores con elevada preparación científica y pedagógica, los estudiantes estaban en disposición de enmendar su informe para la presentación ante un tribunal designado al efecto en el acto de predefensa.

La predefensa se realizó los días 24 y 25 de mayo de 2023 en la Base de Saneamiento del Oeste; sesionaron dos tribunales en paralelo y se contó como miembros de los mismos con los profesores José Bienvenido Martínez Rodríguez y Norberto Venerando Marrero de León, ambos Doctor Honoris Causa y Profesor Emérito; con las profesoras titulares Teresita de Jesús Romero López, Dania Abreu Hernández, y Mailén Virgen Gutierrez Herrera; la Profesora Auxiliar Tania Herrera Achón, y como Instructor el Ing. Dariel Francisco Chang Domínguez.

La defensa del ECE se realizó los días 20 y 21 de junio de 2023, en Aguas de La Habana; además de los profesores antes mencionados que participaron en la predefensa, se sumaron de la Cujae: Juan Antonio Alemán Zayas (Profesor Asistente), y Alejandro Rodríguez Pirez (Instructor).

Por la OSDE participaron como miembros del tribunal el: Ing. Abel Elpidio Salas García (Presidente de la OSDE), Dr.C. Antonio Monzón Sánchez, MsC. Miguel Angel Ferrer Ferrer, Ing. Francisco Rivera Díaz, la Ing. Edelsy Ramos Guilarte, y la Ing. Susana Villareal Mato que fungía como Profesora Principal del Año; estos profesores en su mayoría son Instructor, excepto uno que ya ostenta la categoría docente de Profesor Auxiliar.

El trabajo con los casos disponibles a los que se tuvo acceso demandó la selección de una muestra no probabilística "por conveniencia" (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014, p.390). Se estudiaron 18 documentos: 17 informes del Ejercicio de Culminación de Estudio y el plan de estudio, de este último el objetivo general declarado para la formación de este profesional y los modos de actuación. En Cuba para la formación del Técnico Superior en Agua y Saneamiento, el plan de estudio expresa que el objetivo de la formación está encaminados al abasto seguro de agua para el consumo, el mejoramiento en cantidad y calidad del recurso, el manejo integral de los residuos líquidos, la sostenibilidad de las infraestructuras hidráulicas, entre otros; los cuales requieren de habilidades que se identifiquen con el objeto de la profesión y constituyan las bases para el desarrollo laboral, socio-económico, técnico y científico; para que los egresados puedan afrontar las exigencias del contexto socio histórico-cultural y respondan a los avances científicos, técnicos y tecnológico de sus territorios (MES, 2020).

Las propuestas de solución al problema identificado dentro del banco de problema de la empresa donde pertenece el estudiante, estuvieron relacionadas, esencialmente 10 con el abastecimiento, y con la evacuación y el tratamiento de aguas residuales siete.

Si se tiene en cuenta que en Cuba uno de los problemas más sensibles para la población, lo constituye

el tratamiento de las aguas negras o servidas que son desechos de la actividad antrópica (MES, 2020), es insuficiente aún, la solución de problemas relacionados con la evacuación y el tratamiento de aguas residuales, constituyendo esto una amenaza a la salud humana y ambiental, aspecto en el que hay que orientar más al estudiante para el desarrollo del ECE de las próximas graduaciones.

En todos los informes presentados se distingue su contribución al desarrollo de la infraestructura hidráulica, el ahorro de recursos y la protección y conservación del medio ambiente. Y como modos de actuación se plantea que las actividades profesionales se expresan en: instalación, operación, construcción, aprovechamiento, preservación, gestión hidráulica que incluye mantenimiento y reparación; contabilidad y control; dirección de diferentes componentes de un sistema hidráulico (MES, 2020).

Respecto a la correspondencia del ECE con los modos de actuación declarados en el plan de estudio, 12 tributan a la gestión hidráulica, tres a la construcción y dos a la operación. Teniendo en cuenta que en el plan de estudio se plantea que se necesita de la formación de este profesional para atender de manera eficiente las necesidades constructivas, de rehabilitación, reconstrucción, manejo y mantenimiento de las infraestructuras de acueductos y alcantarillados (MES, 2020), llama la atención la no correspondencia a solución de problemas profesionales que tributen a estos últimos modos de actuación, aspecto que demanda de un accionar de orientación intencionado por parte del colectivo de carrera para ulteriores graduaciones.

El plan de estudio plantea que el ECE puede realizarse en equipos conformados por un máximo de tres estudiantes (MES, 2020); esta primera edición tuvo 29 graduados pertenecientes (7) a la empresa Aguas de La Habana (de estos, tres pertenecen a Bases de Saneamiento Territorial), a la Empresa de Saneamiento Básico de La Habana (6), la Empresa de Mantenimiento y Rehabilitación de Obras Hidráulicas de Occidente (3), la Empresa de Mantenimiento y Reparación a Obras Hidráulicas (3), Empresa de Acueducto y Alcantarillado Aguas Mariel (6), OSDE Agua y Saneamiento (1), OSDE Gestión Integral de las Aguas Terrestres (1), INRH (1), y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Artemisa (1).

Realizaron su ejercicio profesional en dúo 24 estudiantes (12 informes) y 5 estudiantes lo realizaron solos (5 informes); lo anterior se sustenta en el enfoque histórico-cultural gestado en las ideas centrales de la concepción de Vygotsky, que expresa la unidad de lo cognitivo y lo afectivo, defienden la personalidad como una integración, su relación con el contexto, y declaran la existencia de la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) en la que se aprecia una diferencia entre lo que el estudiante puede efectuar por sí solo y lo que hace con ayuda de otros.

Resulta significativo, que la mayoría de los estudiantes de esta primera edición tienen una elevada responsabilidad en su radio de acción profesional, sin embargo, nueve se destacaron de manera notable durante la etapa de estudiante, y obtuvieron calificación de excelente en el ECE, lo que hizo que se graduaran con Título de Oro (MES, 2022); esto devela su interés y preocupación por su superación, ellos fueron: Jorge Suárez García (mejor graduado), Pablo Antonio Labrada Arias, Anaely Díaz Abreu, Rayza Mabel Iglesias González, Adriana Niurka Batista Lara, Eliany González Ramírez, Alicia Cuesta Tejeda, Alexis Coto Vega, y María del Carmen Uria Aguilar.

Después de intercambiar con los estudiantes, para saber sus apreciaciones acerca de este programa de formación, la mayoría coincidieron en plantear que: fue muy atractivo para ellos como estudiante, les gustó el corto tiempo en el que se obtiene una titulación, la mayoría obtuvo resultados académicos muy favorables, destacaron la elevada preparación técnica de sus profesores, y por último que esta carrera da respuesta a las necesidades de la OSDE Agua y Saneamiento, aspecto éste

que los compromete a continuar superándose.

04 CONCLUSIONES

La demanda de formación de este profesional se encaminó al logro de objetivos nacionales de desarrollo económico y social bajo criterios de equidad y sostenibilidad ambiental, con el propósito de contrarrestar factores como: el impacto del cambio climático; las dificultades con el manejo, la disponibilidad y calidad del agua; el tratamiento de las aguas residuales; el deterioro de las redes y las instalaciones hidrosanitarias, y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

Sobre la experiencia es necesario exponer que, el enfoque predominante que caracterizó esta formación fue de carácter teórico-práctico signado por la experticia de sus formadores, sin olvidar la formación humanista. Entre los aspectos valorados se evidenció un vínculo eficiente universidad-empleadores, que posibilitó una mayor calidad, apoyo y labor conjunta en el proceso de formación.

Se les dio solución a 17 problemas profesionales identificado dentro del banco de problema de la empresa donde pertenece el estudiante, cifra que vista superficialmente puede ser considerada como ínfima, pero a modo de ver de la autora constituye un paso de avance en el afrontamiento de las exigencias del contexto socio histórico-cultural y responde a los avances científicos, técnicos y tecnológico del territorio.

05 REFERENCIAS

Ferreira, M. M., Dinarte L., Urzúa S. y Bassi, M. (2021). "La vía rápida hacia nuevas competencias: Programas cortos de educación superior en América Latina y el Caribe". Washington, DC: Banco Mundial. doi:10.1596/978-1-4648-1708-3. Extraído de: www.worldbank.org en agosto 2023.

Gutierrez M.V. (2018). "Modelo curricular para el diseño del currículo del ingeniero hidráulico en Cuba", Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana.

Hernández R., Fernández C. y Baptista P. (2014). "Metodología de la investigación", 6ta. Edición, Editorial McGraw Hill Education, ISBN 978-1-4562-2396-0, México.

Lau, F de la C. (11 de diciembre de 2019). "Nivel de Educación Superior de Ciclo Corto en Cuba". Presentación de la Dirección de Formación de Profesionales de Pregrado del Ministerio de Educación Superior (MES). Reunión de coordinación inicial para el currículo del Técnico Superior en Agua y Saneamiento, llevado a cabo en la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA), Ciego de Ávila, Cuba.

MES (2020). "Plan de estudio, Nivel de Educación Superior de Ciclo Corto Agua y Saneamiento". Plan del Proceso Docente, Curso por Encuentro. Ministerio de Educación Superior. La Habana.

MES (2022). "Resolución No. 47, Reglamento Organizativo del Proceso Docente y de Dirección del Trabajo Docente y Metodológico para las Carreras Universitarias". Ministerio de Educación Superior. La Habana.

MES (2023). “Resolución No.6, Indicaciones para la evaluación del uso correcto de la lengua materna de las carreras universitarias, programa de Nivel de Educación Superior de Ciclo Corto y Educación de posgrado”. Ministerio de Educación Superior. La Habana.

Ministerio de Justicia [Minjus]. (24 de octubre de 2018). Decreto Ley No.359 “Del Nivel de Educación Superior de Ciclo Corto”, Resolución No.98/2018, Ministerio de Educación Superior. Gaceta Oficial (59) de la República de Cuba.

Silva Y. (16 de junio de 2022). “Producción de tuberías busca un nicho en el mercado internacional”. Granma. Recuperado de www.granma.cu.

Velázquez R., Fraga D. y Lau F. de la C. (2022). “Política Pública del Ciclo Corto de la Educación Superior en Cuba”, Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial, vol.6, no.3, pp.1-12, ISSN 2664-0856. Extraído de: <https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/226> en agosto 2023.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

[Mailén Virgen Gutierrez Herrera](https://orcid.org/0000-0002-9319-0653) <https://orcid.org/0000-0002-9319-0653>

Trabajó en la concepción teórico-metodológica de la investigación. Selección de las técnicas y los métodos científicos a utilizar. Procesamiento de los datos y redacción del informe final.

Determinación de los umbrales de precipitación de lluvia para el pronóstico de movimientos de flujo de detritos

Elizabeth Milagros Santiago Torres

E-MAIL: emist2694@gmail.com

Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.

RESUMEN

Esta investigación utilizó métodos empíricos que relacionan la lluvia con los movimientos de flujo de detritos; los cuales, consisten en series de lluvia acumulada que detonan estos movimientos. Además, se procedió a establecer los umbrales estadísticos mediante la ley de la potencia en coordenadas lineales (relación logarítmica) y la estadística no paramétrica. En consecuencia, se establecieron los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA). Asimismo, a este modelo empírico-estadístico, se añade las condiciones locales de la zona de estudio; es decir, algunos parámetros físicos y la condición húmeda del suelo, así como combinarlos con las condiciones de amenaza de la región para la cual fueron definidos.

PALABRAS CLAVES: amenaza, deslizamientos, flujo de detritos o escombros, umbrales de precipitación de lluvia, peligro, pronóstico

Determination of rainfall precipitation thresholds for debris flow forecasting

ABSTRACT

This research employed empirical methods that relate rainfall to debris flow movements, which consist of series of accumulated rainfall that trigger these movements. Additionally, statistical thresholds were established using power law in linear coordinates (logarithmic relationship) and non-parametric statistics. Consequently, critical thresholds for triggering accumulated rainfall (LA) and antecedent accumulated rainfall (LAA) were established. Furthermore, this empirical-statistical model incorporates the local conditions of the study area, including certain physical parameters and soil moisture conditions, and combines them with the hazard conditions specific to the region for which they were defined.

KEYWORDS: threat, landslides, debris flow, rainfall precipitation thresholds, danger, forecast

01 INTRODUCCIÓN

Debido a que, los movimientos de flujo de detritos, comúnmente conocidos como huaycos, representan una amenaza potencial en todo el mundo, especialmente en Perú; es necesario analizar y estudiar dicha amenaza, así como la capacidad de pronosticar estos movimientos. Por lo tanto, es importante definir primero qué es un flujo de detritos; en consecuencia, podemos decir que se trata de un flujo canalizado rápido a extremadamente rápido, que transcurre a lo largo de un cauce con pendiente pronunciada (Hungar 2005; Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas 2007). Además, puede iniciar su movimiento de dos maneras: por deslizamientos superficiales en las cabeceras de las cuencas (Yang et al. 2023) o cuando el material acumulado en las laderas o canales se erosiona y se moviliza por escorrentía (Yang et al. 2023). Por lo cual, estos flujos incorporan una gran cantidad de sedimentos gruesos en su trayectoria mientras descienden por el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (Ilinca 2021; Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas 2007). Adicionalmente, existen diversas causas, como los agentes condicionantes y desencadenantes, que dan lugar a la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos; los cuales pueden cambiar de localidad en localidad, operando con diferentes grados de complejidad e intensidad de uno a otro ambiente. Por lo que, si se sabe que la lluvia es el evento que dispara con mayor frecuencia estos movimientos; ya que, un aumento en las presiones de los poros del suelo reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas, esto equivale a una reducción de resistencia al corte y, con ello una baja en la estabilidad y un eventual fenómeno de movimientos de flujo de detritos (Aristizábal et al. 2010). Por tal motivo, el estudio sobre la relación entre la precipitación de lluvia y la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos es muy importante. Finalmente, teniendo en cuenta que, la combinación de modelos empíricos con modelos físicos permite una adecuada caracterización de la amenaza en términos de probabilidades de ocurrencia en tiempo y espacio; con el fin de obtener una mejor predicción de los movimientos de flujo de detritos para este tipo de umbrales (Aristizábal et al. 2010).

Por otro lado, el motivo por el cual se escoge al distrito de San Rafael como zona de estudio, es porque, es el primer distrito con más registros de ocurrencia por fenómenos de geodinámica externa, en específico Huayco – Aluvión; mientras que, Ambo es la segunda provincia con mayores registros de ocurrencia a estos fenómenos (huaycos), así como también ocupa el cuarto lugar en fenómenos meteorológicos como precipitaciones de lluvia y avenidas torrenciales; por último, el departamento de Huánuco está dentro de los 10 departamentos con más incidentes registrados de peligros, ocasionados por fenómenos naturales según su tipo (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] 2016 y DesInventar.org 2022). Asimismo, la quebrada Rosayoc/Batán, se ubica al margen derecho de la localidad de San Rafael (capital del distrito), siendo una zona muy susceptible a movimientos de flujo de detritos; los cuales son detonados, generalmente, por precipitaciones de lluvia. Además, las consecuencias que puede traer este problema son muchos, debido a que, la quebrada se encuentra ubicada cerca de la localidad de San Rafael (capital del distrito), la carretera central, el río Huallaga y el Asentamiento Humano 07 de junio (quebrada Pomabamba). Por último, esta investigación estuvo enfocada en la determinación de umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujos de detritos; con la finalidad de contribuir con la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD); además de ofrecer información técnica sobre la dinámica que podrían presentar estos movimientos, a fin de producir mecanismos que sirvan para la elaboración de los diseños de las medidas de control, prevención y reducción de desastres, ante la probable ocurrencia de este evento, que ocasionaría varios problemas como pérdidas de vidas humanas y económicas; obstaculización del tránsito,

dejando a varias localidades y ciudades sin comunicación; además de generar daños en la infraestructura vial.

02 METODOLOGÍA PROPUESTA

En esta investigación, se ha empleado una metodología que integra los Sistemas de Información Geográfica (SIG), teledetección y análisis de imágenes satelitales para el geoprocesamiento de datos espaciales; así como, el análisis y evaluación de las zonas susceptibles donde se genera movimientos de flujo de detritos, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED 2014), considerando algunos factores condicionantes como la pendiente, unidades geológicas, geomorfológicas (relieve), cobertura vegetal y uso de suelo. Este último, se usó para elegir los números de curva (CN), siendo uno de los datos importantes en la determinación de los caudales líquidos de escorrentía. Además, para la simulación del flujo de detritos se empleó el modelo matemático FLO-2D; con lo cual, se determinó para cada escenario la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y el periodo de retorno (TR), el área de inundación, máximas profundidades y velocidades del flujo sobre las potenciales zonas de depositación. Con los resultados de la simulación se realizó el mapa de peligro, en función de las profundidades y velocidades del flujo de detritos, teniendo como base el mapa de peligro según los criterios del análisis jerárquico.

ZONA DE ESTUDIO

El enfoque de este estudio, se sitúa en el distrito de San Rafael, al sur de la provincia de Ambo, en la región de Huánuco – Perú. Asimismo, presenta una situación no óptima por problemas de geodinámica externa (movimientos de masa); ya que, en épocas de intensas precipitaciones o avenidas, se generan huaycos e inundaciones en la salida de la ciudad.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio específica, en donde se analizó el fenómeno, fue la quebrada Rosayoc/Batán (Figura 1) perteneciente a la localidad de San Rafael (capital del distrito de San Rafael), que se encuentra al margen izquierdo del río Huallaga y margen derecho de la quebrada.

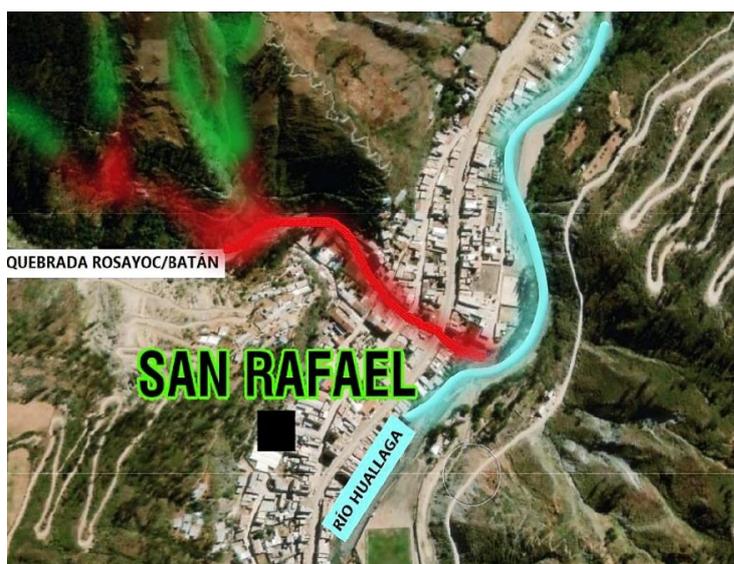


Figura 1. Zona de Estudio - Quebrada Rosayoc/Batán - Localidad de San Rafael

El área de estudio se ubica aproximadamente en la dirección de las siguientes coordenadas, las cuales se muestran en la Tabla 1; asimismo, en la Figura 2 se visualiza el mapa de localización y ubicación.

Tabla 1. Ubicación política y geográfica de la zona de estudio

UBICACIÓN POLÍTICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA
Departamento: Huánuco	Coordenadas: Sistema WGS84, UTM Planas
Provincia: Ambo	Zona UTM: 18S
Distrito: San Rafael	Cuadrícula: L
Extensión del área de estudio	Inicio Aproximado: Este: 370 305,00 m Sur: 8 857 068,00 m
	Fin Aproximado: Este: 370 569,00 m Sur: 8 857 052,00 m

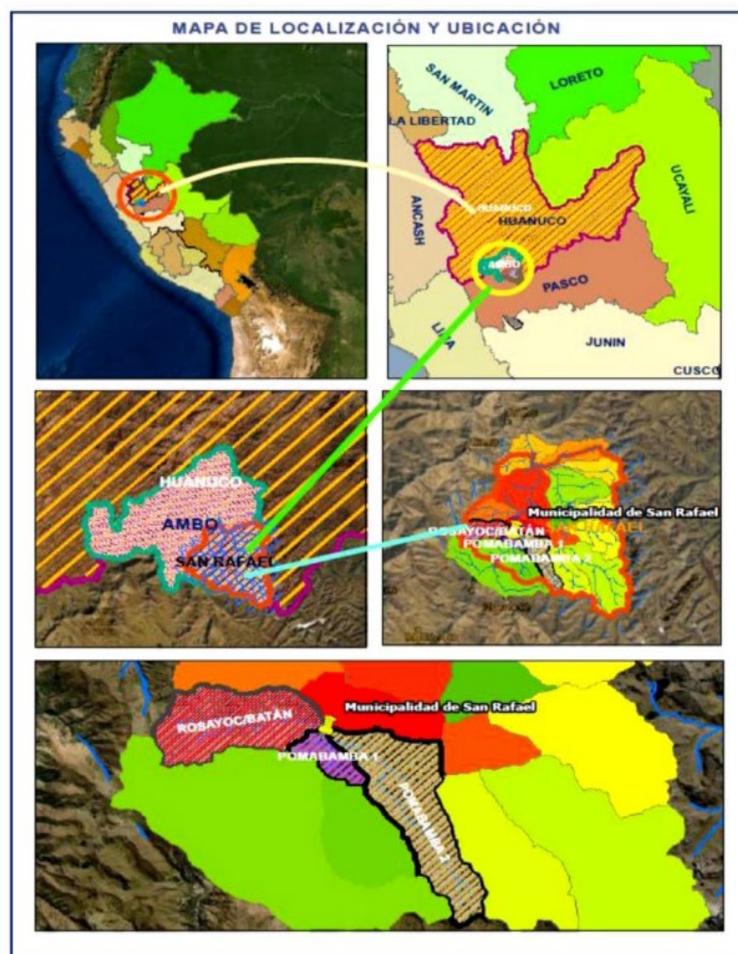


Figura 2. Mapa de localización y ubicación del área de estudio

RELACIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES EVALUADAS

UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA QUE DETONAN MOVIMIENTOS DE FLUJO DE ESCOMBROS

Los umbrales de precipitación de lluvia pueden ser empíricos o de bases físicas: los primeros, se establecen en la identificación de áreas donde ha ocurrido o no un movimiento de masa, el cual está relacionado con un evento de precipitación; mientras que, los umbrales físicos se obtienen mediante modelos numéricos que combinan un análisis hidrológico y geotécnico, los cuales toman en cuenta

las relaciones entre precipitación (lluvias), infiltración, presiones de poros y estabilidad de la ladera. Asimismo, con el fin de, obtener una mejor predicción de los movimientos de masa para este tipo de umbrales, se requiere información hidrológica, litológica, morfológica y características de los suelos que controlan la activación de estos movimientos (Aristizábal et al. 2010). Estos modelos son de gran relevancia como base para el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), ya que pueden predecir la cantidad de precipitación necesaria para desencadenar superficies de falla en laderas, así como la localización y tiempo en los cuales un movimiento pueda presentarse. Sin embargo, la necesidad de tener información sobre grandes áreas y el uso de equipos especializados (pluviómetros, tensiómetros, piezómetros) hacen que estos, tengan ciertas limitantes en su implementación (Aristizábal et al. 2010).

Adicionalmente, para la definición de los umbrales de precipitación de lluvia, se realizará el análisis de dos de los parámetros de la precipitación (Aristizábal et al. 2010):

Lluvia crítica: Es el volumen de la precipitación acumulada o el valor límite para que se presente un deslizamiento. Este tipo de lluvia se basa en el análisis de la precipitación acumulada o antecedente de días previos a la ocurrencia del evento.

- **Lluvia acumulada o lluvia de corto plazo (LA):** también denominada como lluvia crítica. Representa la cantidad de lluvia caída en los días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento, incluyendo el día de su ocurrencia (lluvia de evento: corresponde a la precipitación registrada durante el día de la ocurrencia del evento o movimiento de masa).
- **Lluvia acumulada antecedente (LAA) o lluvia del largo plazo:** corresponde a la cantidad de lluvia caída en los días precedentes a los que se consideraron en la lluvia acumulada (LA).

Duración crítica: Es el tiempo de duración necesario para que la precipitación alcance el valor crítico.

UMBRALES EMPÍRICOS-ESTADÍSTICOS DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA

Generalmente, las características empleadas para describir y calcular los umbrales de un evento de lluvia son la duración de la lluvia (D) y la precipitación acumulada (o su intensidad promedio) (Martinengo et al. 2023). Por ende, este método basado en la precipitación de lluvia acumulada de días, que pueden llegar a ser semanas y/o meses, es muy útil en la predicción de movimientos de masa; además difiere según las condiciones locales de los suelos y del régimen climático, por tanto, debe ser aplicado en forma particular para cada zona de estudio. Para la realización de un análisis correcto, a cada movimiento de masa se debe asociar su precipitación de lluvia detonante; por lo cual, se debe contar con registros históricos completos de precipitación de lluvia, con un buen período de registro a nivel diario. Luego se podrá generar series de lluvia acumulada con sus respectivas duraciones; con el fin de sintetizar un modelo de comportamiento de la zona por estudiar y así contribuir al pronóstico de los movimientos mencionados, para esto se seleccionan los sitios con mayores eventos de movimientos de masa causados por la precipitación lluvia (Aristizábal et al. 2010).

$$E = \alpha \times D^\gamma \quad (1)$$

$$E = (\alpha \pm \Delta\alpha) \times D^{(\gamma \pm \Delta\gamma)} \quad (2)$$

03 RESULTADOS

UMBRALES MÍNIMOS DE LLUVIA ACUMULADA (LA)

Los umbrales con similitud de ecuación estadística, difieren de una familia de curva potencial a otra; ya que, una serie de lluvia acumulada representa un umbral, la cual inicia desde el día en que ocurrió el movimiento de flujo de detritos hasta el día en que no hay lluvia pudiendo activarse después otro evento de precipitación (nueva serie). Asimismo, cuando nuevos eventos de precipitación de lluvia asociados a movimientos de flujo de escombros son registrados en el área de estudio, la población de datos cambia y, por consiguiente, el umbral debe ser recalculado. Por tal motivo, los umbrales mínimos LA1 y LA2, se compararon por separado y entre ellos mismos; debido a que, el primero posee coeficiente de intercepción y el segundo, carece de este coeficiente. De lo anterior, se pudo observar que, el umbral mínimo LA1 de 18 días posee mayores precipitaciones que el umbral mínimo LA1 de 5 días. Además, el umbral mínimo LA2 de 5 días tiene las mayores precipitaciones que los umbrales mínimos LA2 de 6 y 7 días.

Adicionalmente, si se sabe que, los umbrales mínimos representan la cantidad de lluvia por encima de la cual, la probabilidad de ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos aumenta severamente. Por lo que, se comparó los umbrales mínimos LA1 y LA2 con las precipitaciones máximas diarias. De esto, se deduce que, las precipitaciones máximas superan al umbral mínimo LA1 de 5 días desde el periodo de retorno (TR) de 20 años en adelante; asimismo, las precipitaciones máximas superan completamente a los umbrales mínimos LA2 de 5, 6 y 7 días. En cambio, las precipitaciones máximas no logran superar al umbral mínimo LA1 de 18 días. Finalmente, podemos decir que, las precipitaciones máximas diarias pueden detonar movimientos de flujo de detritos en las condiciones de los umbrales mínimos LA1 (TR=20) de 5 días, LA2 de 5, 6 y 7 días. De lo mencionado, los datos y resultados se observan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 2. Cuadro comparativo entre los umbrales mínimos (LA) y las precipitaciones máximas en 24 horas

Periodo de Retorno (TR)	Umbrales mínimos LA					Precipitación máxima en 24 horas
	LA1 min 5 días (mm)	LA1 min 18 días (mm)	LA2 min 5 días (mm)	LA2 min 6 días (mm)	LA2 min 7 días (mm)	
	$E = (6,6 + 0,7) D^{(0,43 - 0,03)}$	$E = (0,57 + 0,06) D^{(0,784 - 0,021)}$	$E = D^{(0,870 - 0,065)}$	$E = D^{(0,670 - 0,033)}$	$E = D^{(0,568 - 0,034)}$	
	AMCI – LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCI – LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCIII – LAA2 - 12 DÍAS	AMCI – LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCIII – LAA2 - 12 DÍAS	
	AMCIII - LA 24 ≤ D ≤ 120	AMCIII - LA 24 ≤ D ≤ 432	AMCIII - LA 24 ≤ D ≤ 120	AMCI - LA 24 ≤ D ≤ 144	AMCI - LA 24 ≤ D ≤ 168	
10		61,06			48,29	
15	53,02	64,94		25,29	52,18	
20	54,36	67,48		26,15	16,85	
25	55,34	69,35	54,33	26,79	17,23	
50	58,14	74,71	58,43	28,6	18,30	
100	60,67	79,53	62,11	30,24	19,27	
200	62,98	83,94	65,48	31,73	20,15	
500	65,78	89,28	69,57	33,55	21,22	
					AMCII y AMCIII - LA	
					54,93	
					57,05	
					63,66	
					70,35	
					77,15	
					86,36	

UMBRALES MÍNIMOS DE LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE (LAA)

Para desencadenar los movimientos de flujo de detritos, no solo influyen las lluvias acumuladas detonantes (LA), sino también las lluvias acumuladas antecedentes (LAA); puesto que, estas últimas están relacionadas con las condiciones iniciales de humedad del suelo y nivel freático de la quebrada Rosayoc/Batán. Por consiguiente, se genera erosión superficial (escorrentía) y subsuperficial (infiltración); así como, el ascenso del nivel freático por aumento del agua subterránea que satura el suelo de la quebrada Rosayoc/Batán. Por lo que, todas las componentes del agua precipitada sobre la quebrada, aumentan el peso de la masa, favoreciendo de esta manera la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos. Asimismo, para la determinación de estos umbrales, se utilizó los métodos de inferencia estadística y la teoría de las probabilidades, que comúnmente se aplican en la hidrología convencional. Por último, se obtuvieron los siguientes umbrales mínimos LAA confiables, para distintos periodos de retorno, los cuales se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 3. Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA) para distintos periodos de retorno

Periodo de Retorno (TR)	LAA2 mín 3 días (mm)	LAA2 mín 4 días (mm)	LAA2 mín 5 días (mm)	LAA2 mín 8 días (mm)	LAA2 mín 12 días (mm)
	E = D (0,521 - 0,021)	E=D (0,653 - 0,073)	D (0,572 - 0,020)	D (0,573 - 0,010)	D (0,796 - 0,004)
	24 ≤ D ≤ 72	24 ≤ D ≤ 96	24 ≤ D ≤ 120	24 ≤ D ≤ 192	24 ≤ D ≤ 288
10	9,08	14,76	14,44	19,31	
15	9,48	15,50	15,15	20,31	
20	9,73	15,98	15,62	20,97	93,72
25	9,93	16,33	15,97	21,46	96,34
50	10,47	17,35	16,95	22,85	103,82
100	10,96	18,27	17,84	24,10	110,56
200	11,41	19,10	18,65	25,24	116,72
500	11,95	20,12	19,64	26,63	124,18

VOLÚMENES, MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR LOS UMBRALES MÍNIMOS LA EN LOS CAUCES DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN

Asimismo, se obtuvieron los siguientes volúmenes, máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA en los cauces de la quebrada Rosayoc/Batán, para distintos escenarios como la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y el periodo de retorno (TR), los cuales se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 5. Adicionalmente, se adjunta la superposición de los mapas de peligro de los cauces y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán, que se visualizan en la Figura 3 y Figura 5; así como, la comparación de los mapas de peligro de los cauces y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán.

Tabla 4. Volúmenes del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA en los cauces de la quebrada Rosayoc/Batán

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN	
AMCIII	AMCIII
Flujo de detritos - LA1 5d - TR = 15 años	Flujo de detritos - LA1 5d - TR = 20 años

Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)	Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)
Flujo de entrada (m³)	2995 428,69	4 974 400,16	1 978 971,47	Flujo de entrada (m³)	3 148 750,51	5 229 052,49	2 080 301,98
Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	407 721,40	677 088,20	269 366,79	Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	406 060,49	674 334,66	268 274,17
Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	2 587 707,29	4 297 311,96	1 709 604,68	Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	2 742 690,02	4 554 717,83	1 812 027,80
			CV = 0,40				CV = 0,40
			BF = 1,66				BF = 1,66

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 18 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN

AMCIII				AMCIII			
Flujo de detritos - LA1 18d - TR = 10 años (m³)				Flujo de detritos - LA1 18d - TR = 15 años			
Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)	Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)
Flujo de entrada (m³)	3 951 105,99	6 561 583,88	2 610 477,89	Flujo de entrada (m³)	4 441 647,13	7 376 148,96	2 934 501,84
Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	398 293,09	661 443,53	263 150,44	Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	398 018,40	660 980,70	262 962,30
Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	3 552 812,90	5 900 140,35	2 347 327,45	Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	4 043 628,72	6 715 168,26	2 671 539,54
			CV = 0,40				CV = 0,40
			BF = 1,66				BF = 1,66

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN

AMCIII				AMCIII			
Flujo de detritos - LA2 5d - TR = 25 años				Flujo de detritos - LA2 5d - TR = 50 años			
Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)	Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)
Flujo de entrada (m³)	3 146 184,08	5 224 806,05	2 078 621,97	Flujo de entrada (m³)	3 626 638,65	6 022 714,75	2 396 076,10
Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	404 715,22	672 102,61	267 387,39	Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	401 123,96	666 141,69	265 017,73

Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	2 741 468,86	4 552 703,43	1 811 234,58	Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	3 225 514,69	5 356 573,06	2 131 058,38
			CV = 0,40				CV = 0,40
			BF = 1,66				BF = 1,66
VOLUMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 7 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN							
AMCIII				AMCIII			
Flujo de detritos - LA2 7d - TR = 20 años				Flujo de detritos - LA2 7d - TR = 25 años			
Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)	Flujo (m³)	Agua (m³)	Agua + sedimentos (m³) = bf (agua)	Sedimentos (m³)
Flujo de entrada (m³)	181 032,15	300 627,09	119 594,94	Flujo de entrada (m³)	193 629,29	321 532,79	127 903,49
Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	181 032,15	300 627,09	119 594,94	Flujo almacenado dentro del área de análisis o cauce (m³)	193 607,33	321 496,32	127 888,99
Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	0,00	0,00	0,00	Flujo fuera del área de análisis o zona de depositación (m³)	21,96	36,47	14,51
			CV = 0,40				CV = 0,40
			BF = 1,66				BF = 1,66

Tabla 5. Máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, para distintos escenarios, detonado por los umbrales mínimos LA en los cauces de la quebrada Rosayoc/Batán

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 5D			MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 18D		
Escenarios	Máximas profundidades (m)	Máximas velocidades (m/seg)	Escenarios	Máximas profundidades (m)	Máximas velocidades (m/seg)
			Escenario 1: TR= 10 años - AMCIII	0,00 <h≤ 15,76	0,00 <v≤ 21,09
Escenario 2: TR= 15 años - AMCIII	0,00 <h≤ 14,26	0,00 <v≤ 18,41	Escenario 2: TR= 15 años - AMCIII	0,00 <h≤ 16,56	0,00 <v≤ 22,32
Escenario 3: TR= 20 años - AMCIII	0,00 <h≤ 14,49	0,00 <v≤ 19,06	Escenario 3: TR= 20 años - AMCIII	0,00 <h≤ 16,43	0,00 <v≤ 22,97
Escenario 4: TR= 25 años - AMCIII	0,00 <h≤ 14,71	0,00 <v≤ 19,24	Escenario 4: TR= 25 años - AMCIII	0,00 <h≤ 16,83	0,00 <v≤ 23,19
Escenario 5: TR= 50 años - AMCIII	0,00 <h≤ 15,18	0,00 <v≤ 20,22	Escenario 5: TR= 50 años - AMCIII	0,00 <h≤ 17,89	0,00 <v≤ 23,83
Máximas profundidades y velocidades del umbral mínimo LA2 5d			Máximas profundidades y velocidades del umbral mínimo LA2 7d		
Escenarios	Máximas profundidades (m)	Máximas velocidades (m/seg)	Escenarios	Máximas profundidades (m)	Máximas velocidades (m/seg)

			Escenario 3: TR= 20 años - AMCIII	0,00 <h≤ 3,88	0,00 <V≤ 1,52
Escenario 4: TR= 25 años - AMCIII	0,00 <h≤ 14,46	0,00 <V≤ 18,90	Escenario 4: TR= 25 años - AMCIII	0,00 <h≤ 3,96	0,00 <V≤ 1,65
Escenario 5: TR= 50 años - AMCIII	0,00 <h≤ 15,35	0,00 <V≤ 20,27	Escenario 5: TR= 50 años - AMCIII	0,00 <h≤ 4,21	0,00 <V≤ 2,08

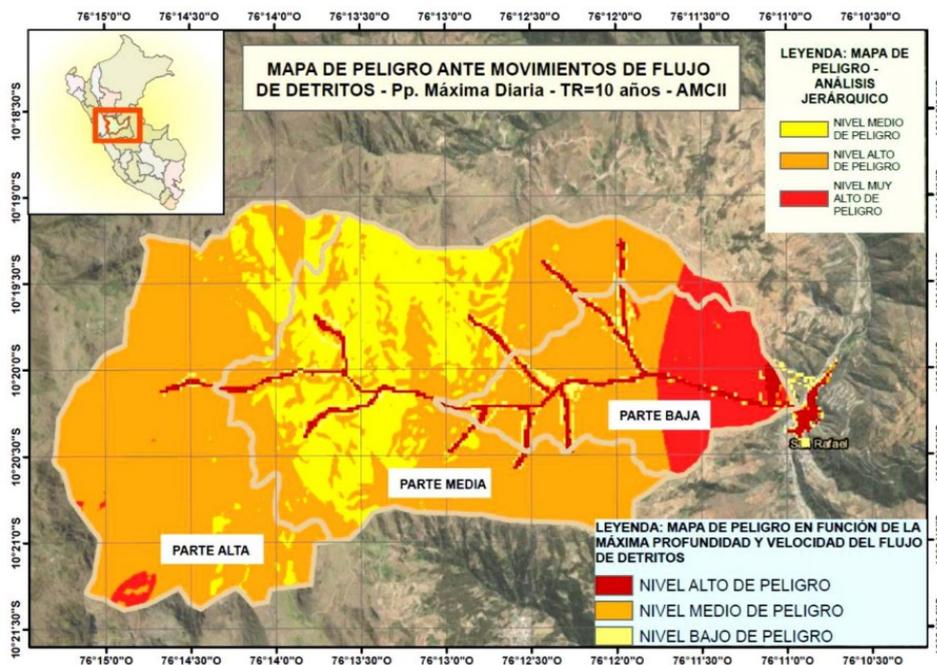


Figura 3. Superposición de los Mapas de peligro de los cauces, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán, mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años

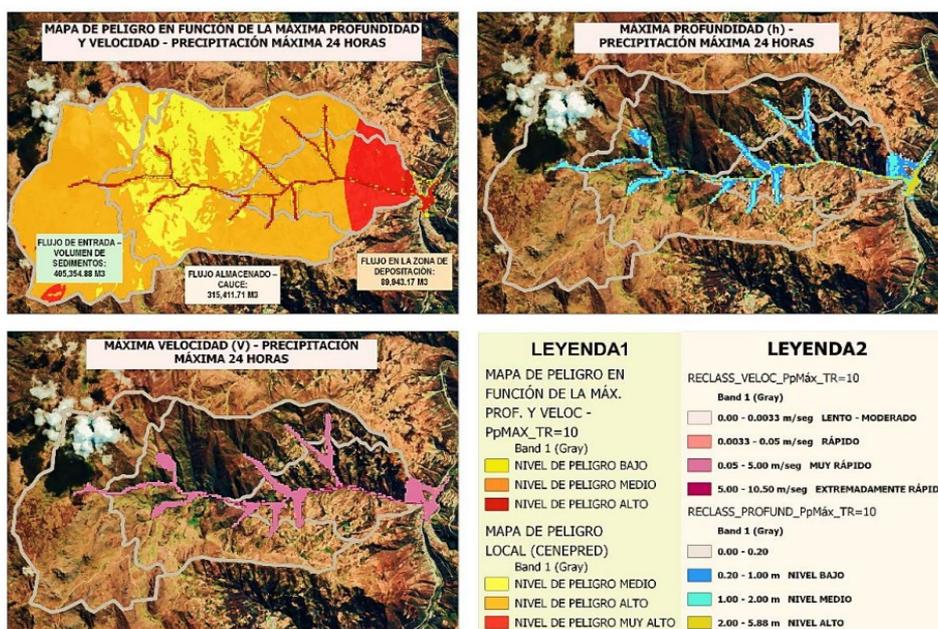


Figura 4. Comparación de los mapas de peligro de los cauces, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán, mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años

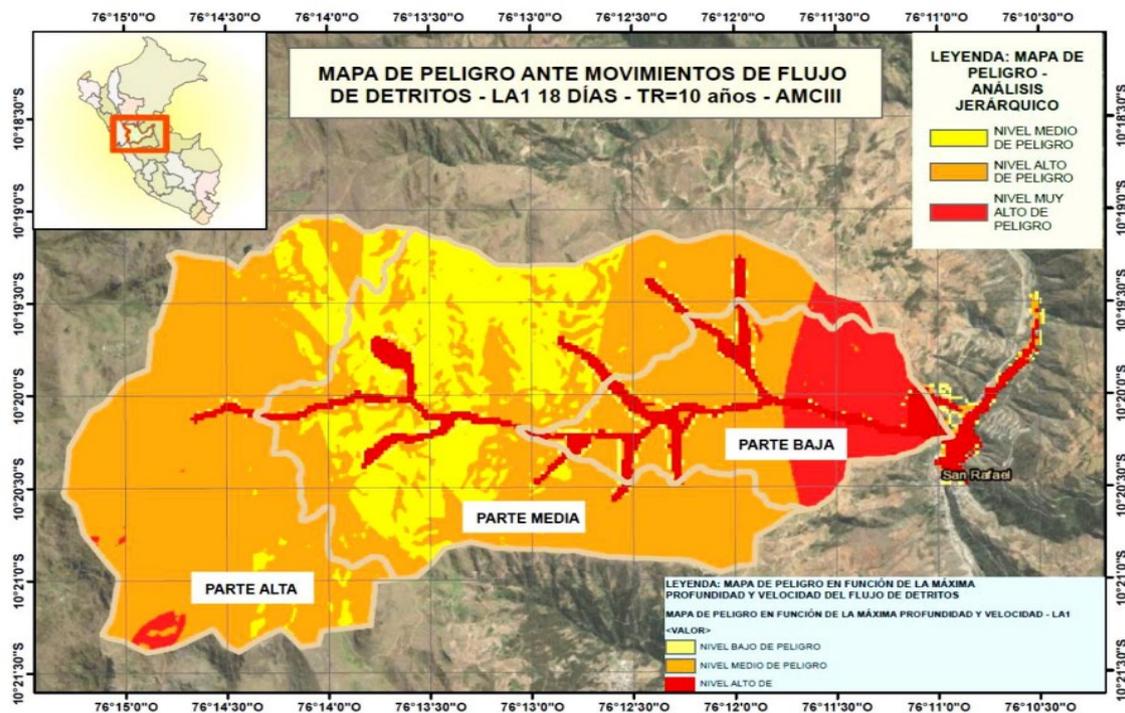


Figura 5. Mapas de peligro de los cauces, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 18 días, y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán, mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años

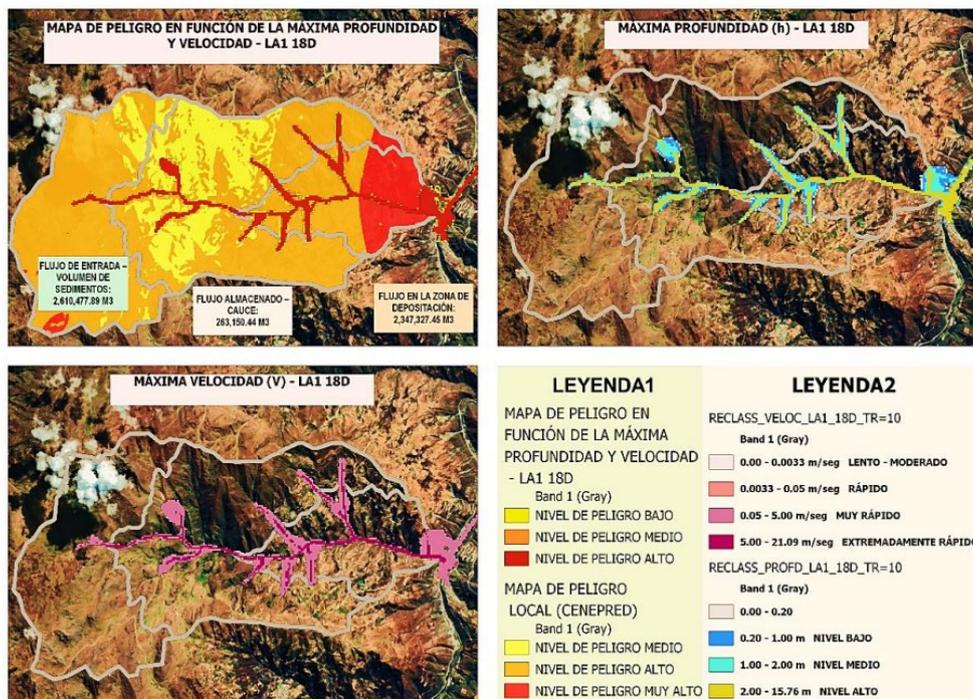


Figura 6. Comparación de los mapas de peligro de los cauces, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 18 días, y superficie que conforma la quebrada Rosayoc/Batán, mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años

04 CONCLUSIONES

En conclusión, se calculó el Estadístico de Habilidad Verdadera (TSS, por sus siglas en inglés) de los umbrales mediante la calibración y validación. Esto indica que se evaluó la capacidad del modelo para predecir resultados futuros, lo que condujo a los siguientes hallazgos: las incertidumbres son menores y cercanas al 10% para los umbrales LA1 de 5 días y 18 días, respectivamente; el umbral LA1 de 18 días también tiene la mayor tasa de predicción (49%) de los dos. También se encontraron incertidumbres por debajo del 10% para los umbrales LA2 de 5, 6 y 7 días, siendo el umbral LA2 de 7 días el que tiene el mayor porcentaje de predicción (62%). Los umbrales LAA2 de 3, 4, 5, 8 y 12 días presentan incertidumbres menores y cercanas al 10% y el umbral LAA2 de 3 días tiene el mayor porcentaje de predicción (41%), sin embargo es probable que no genere escorrentía. A esto, cabe destacar que, el umbral LAA de 12 días tiene 6% de predicción; no obstante, posee una baja incertidumbre del 0.5% y, es probable que genere una gran escorrentía. Adicionalmente, mediante el análisis y evaluación de los niveles de peligro para los movimientos de flujo de detritos según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED 2014), se estableció que la parte baja, se estableció que en la parte baja, se encuentran los niveles muy alto (color rojo) y alto (color anaranjado); en la parte media, se hallaron los niveles alto (color anaranjado) y medio (color amarillo); y en la parte alta, se encontró un nivel alto de peligrosidad (color anaranjado), asimismo, estos niveles poseen la mayor predominancia de área en cada una de las partes de la quebrada. Por otra parte, también se hicieron los mapas de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos detonados por la precipitación máxima en 24 horas y el umbral crítico de lluvia acumulada (LA1) de 18 días, en función de las máximas profundidades y velocidades que genera el flujo de detritos, en la simulación computacional del programa FLO-2D. Este modelo mencionado, presentó tres niveles, los cuales son bajo, medio y alto, teniendo como preponderante los niveles de peligro medio (color anaranjado) y alto (color rojo),

en los recorridos de los cauces.

05 REFERENCIAS

- Aristizábal E., Martínez H. y Vélez J. I.** (2010). “Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias”, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 209-227, ISSN 0370-3908, Colombia. Extraído de: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/621>
- Aleotti P.** (2004). “A warning system for rainfall-induced shallow failures”, *Engineering Geology*, 73(3-4), 247-265, ISSN 0013-7952, Italia. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.01.007>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED].** (2014). “Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (Versión 02)”. Lima, Perú. Extraído de: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>
- DesInventar.org.** (2022). “UNDRR DesInventar Sendai: Perú”. DesInventar online. Recuperado de 1994. Obtenido de: <https://www.desinventar.org/>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI].** (2016). “Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD v2.0)”. Sistema informático bajo la plataforma Internet. Lima, Perú. Recuperado de 2003. Extraído de: <http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/portal.html>
- Hungr O.** (2005). “Chapter 2: Classification and terminology”, In M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena* (pp. 9-23), Springer, Berlin, Heidelberg, Alemania, ISBN 978-3-540-27129-1. Obtenido de: https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_2
- Ilinca V.** (2021). “Using morphometrics to distinguish between debris flow, debris flood and flood (Southern Carpathians, Romania)”, *Catena*, 197, 104982, ISSN 0341-8162. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2020.104982>
- Martinengo M., Zugliani D. and Rosatti G.** (2023). “Validation and potential forecast use of a debris-flow rainfall threshold calibrated with the Backward Dynamical Approach”, *Geomorphology*, 421, 108519, ISSN 0169-555X. Extraído de: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108519>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.** (2007), “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas (Publicación Geológica Multinacional N°4)”, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Repositorio Institucional INGEMMET. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Yang H., Hu K., Zhang S. and Liu S.** (2023). “Feasibility of satellite-based rainfall and soil moisture data in determining the triggering conditions of debris flow: The Jiangjia Gully (China) case study”, *Engineering Geology*, 315, 107041, ISSN 0013-7952. Extraído de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107041>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Elizabeth Milagros Santiago Torres <https://orcid.org/0009-0002-6478-9816>
Es el único autor, por lo tanto, realizó el artículo en su totalidad.

Efectos socioambientales de avenida torrencial en Rio Pindo, Pastaza, Ecuador

Ricardo Vinicio Abril Saltos

E-MAIL: rvabril@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Carrera de Ingeniería Ambiental, Pastaza, Ecuador

Fabrizio Antonio Ríos Rodríguez

E-MAIL: riosfabrizio2014@gmail.com

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, Pastaza, Ecuador

Miriam Raquel Morocho Noboa

E-MAIL: miriam.morocho1997@gmail.com

Compañía de transporte pesado TRANSOLIGASMI S.A, Ecuador

RESUMEN

Los ríos son elementos fundamentales en las poblaciones y a la vez representan riesgos devengados de eventos extremos. El presente trabajo tuvo como objetivos identificar los principales efectos ambientales ocurridos por el desbordamiento del Rio Pindo Grande en la parroquia Shell y conocer el estado de preparación ante emergencias de la población. Se elaboró un formato de encuesta que recopila información socioeconómica, vivienda, servicios y afectaciones por las crecidas del río que se aplicó a 135 personas ubicadas en barrios aledaños al río. Se determinó que la mayoría de la población no ha sido capacitada para emergencias y la linterna como el equipo más reportado y la principal afectación fue sobre las dotaciones de agua y servicio eléctrico. Se concluye que las zonas aledañas al río se encuentran expuestas a riesgos por crecidas y la mayoría de la población no ha sido capacitada para el manejo de emergencias.

PALABRAS CLAVES:

inundación, riesgo, lluvias, ambiente, población.

Socio-environmental effects of torrential flood in Rio Pindo, Pastaza, Ecuador

ABSTRACT

Rivers are fundamental elements in populations and at the same time represent risks arising from extreme events. The objectives of this work were to identify the main environmental effects caused by the overflow of the Pindo Grande River in the Shell parish and to know the state of emergency preparedness of the population. A survey format was developed that collects socioeconomic information, housing, services and effects due to the river floods, which was applied to 135 people located in neighborhoods surrounding the river. It was determined that the majority of the population has not been trained for emergencies and the flashlight as the most reported equipment and the main impact was on the water and electrical service provisions. It is concluded that the areas surrounding the river are exposed to risks due to flooding and the majority of the population has not been trained in emergency management.

KEYWORDS: flood, risk, rain, environment, population.

01 INTRODUCCIÓN

El consumo de los recursos hídricos en el interior de las cuencas hidrográficas, está destinado principalmente a satisfacer las necesidades de la población, por lo cual el mismo se encuentra expuesto a posibles riesgos de contaminación. En el interior de las cuencas, las crecidas (Montoya y Rodríguez 2020). En Ecuador Los sistemas fluviales andinos y amazónicos, se categoriza en riachuelos andinos, para aquellos que se encuentran sobre los 3200 msnm, ríos de cordillera, aquello entre 500 a 3200 msnm y amazónicos con alturas inferiores a 500 msnm (Encalada et al., 2019). Los flujos torrenciales son característicos en cuencas pequeñas y de montaña, los cuales están compuestos por una mezcla de agua y sedimentos que se desplazan rápidamente a lo largo del cauce y que en las últimas décadas estos eventos climáticos se han reportado con mayor frecuencia, reportando pérdidas humanas y económicas. (Aristizabal et al., (2020).

Shell, es la parroquia estratégica de la provincia de Pastaza, la segunda en población, a pesar de no ser de los pueblos más antiguos. El Cantón Mera cuenta con una población de 11.861 habitantes (Instituto Nacional De Estadísticas Y Censos, 2010), esta zona se caracteriza por la presencia de constantes precipitaciones y lluvias intensas (Abril et al., 2019). La mayor concentración de la población se encuentra en la parroquia Shell. Aquí se desarrollan actividades turísticas, económicas e institucionales, donde en el año 2002 se construye el dique en el Río Pindo Grande en la Parroquia Shell, con el objetivo de incrementar la actividad turística de la parroquia y generar fuentes de desarrollo, el mismo que fue destruido por un evento de desbordamiento por precipitaciones excesivas el 30 de diciembre del 2016.

El presente trabajo tuvo como objetivo identificar el estado de preparación de la población ante contingencias por el desbordamiento del río.

02 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se llevó a cabo en la Parroquia Shell en el año 2017 (figura 1), sus características de temperatura de acuerdo a la base de datos de la estación meteorológica Río Amazonas para un período de retorno de 30 años son: Temperatura máxima 30,5; temperatura mínima de 12 y una media de 21 C min, siendo el mes más frío Julio y el más cálido Octubre. Abril et al (2019) indica que la precipitación media anual es de 5367 mm. Históricamente las mayores precipitaciones se presentan en abril con una media de 570 mm y el mes menos lluvioso es agosto con una media de 335 mm. Los registros de precipitaciones máximas indican para 24 horas un valor de 244,6 mm, el cual ocurrieron en el día del evento de desbordamiento del río, alcanzando un caudal de 226,9 m³/s, siendo su gasto base normal 6 m³/s.

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó una encuesta en los barrios cercanos a la ubicación del Río siendo estos: Cuatro de octubre, Voz Andes, Copales, Mushualpa, Nuevo Amanecer, Pindo Mirador, Pueblo Nuevo, Sacha Runa, San Antonio, San José, San Luis y Shuaretza y Sicha Puma, en los cuales se aplicó un total de 135 encuestas, las cuales constaban de 4 bloques, el primero correspondiente a la descripción del encuestado, el segundo con aspectos socioeconómicos, estructura de vivienda y dotación de servicios, el tercer bloque aspectos ambientales y el último de preparación ante emergencias.

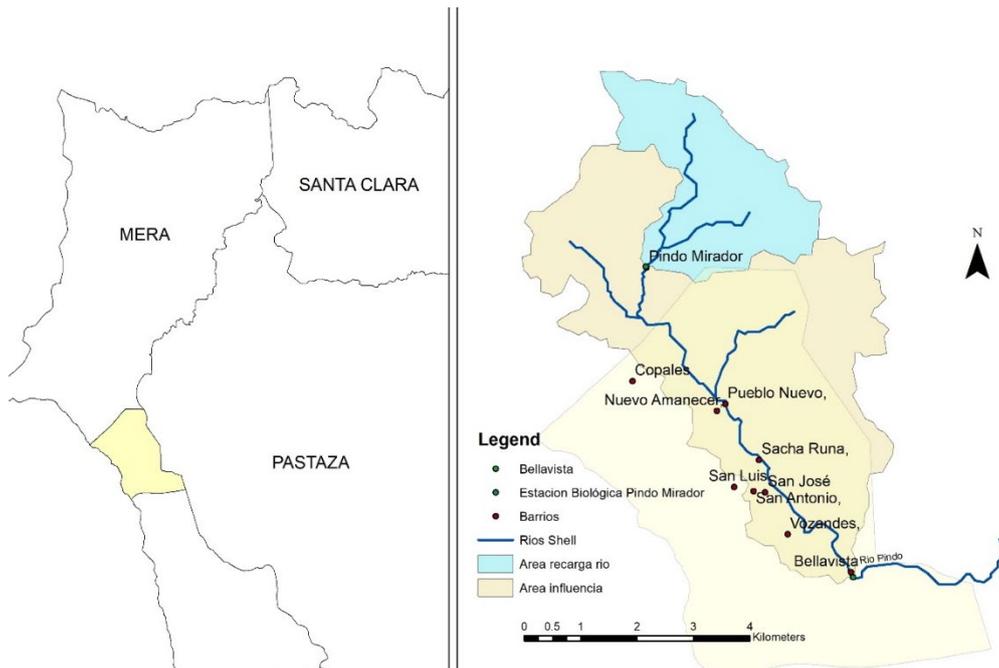


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Los datos fueron ingresados en una matriz de Excel y posteriormente trasladadas al programa SPSS (IBM, 2013), donde se procesó a través de análisis de frecuencias. Se aplicó un análisis multivariado de correspondencia múltiple con componentes rotados (Cuadras, 2014) los factores edad, hace cuánto tiempo ocurrieron los desastres más reportados, distancia al punto más cercano y personas que residen en el hogar, se estimó el coeficiente de Kaiser-Meyer-Olkin y se realizó un análisis de reducción de dimensiones por escalonamiento óptimo, donde se obtuvo el coeficiente de Alfa de Cronbach aplicado al bloque memoria de desastres, (Hair et al., 1999). Se realizó un análisis de varianza bivariado para identificar si las variables Edad, sexo, autoidentificación étnica, Tiempo de residencia y Nivel de instrucción aportan en la variabilidad de las respuestas. Previo al análisis se realizó una categorización de datos en edad considerando rangos de menos de 20 años, de 1 a 30 años, 31 a 50 años, 50 a 70 años y más de 70 años y para el tiempo de residencia menos de 5 años, de 5 a 10 años, de 11 a 20 años, de 21 a 30 años y más de 30 años.

03 RESULTADOS

La figura 2, muestra que la mayor parte de encuestados corresponde a sexo femenino, donde el mayor grupo se encuentra entre los rangos de 16 a 30 y 31 a 50 años, los rangos mayoritarios de tiempos de residencia se encuentran entre 1 a 20 años, los niveles de instrucción predominante son primaria y secundaria y la principal ocupación de los encuestados es la agricultura.

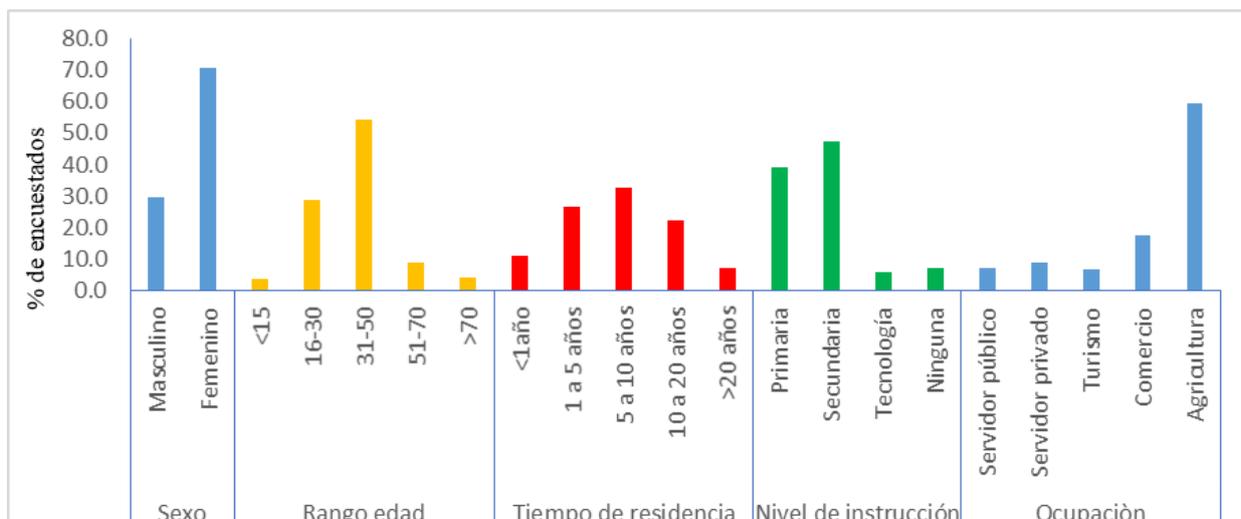


Figura 2. Caracterización del encuestado

En las características de la vivienda, (figura 3). La mayoría de encuestados reporta ser los propietarios de la vivienda, los materiales predominantes de construcción son cemento y madera, con una estructura de un piso. La mayor parte de encuestados cuenta con predios legalizados, también destacan la existencia de terrenos comunitarios y un 30% desconoce el estado del predio.

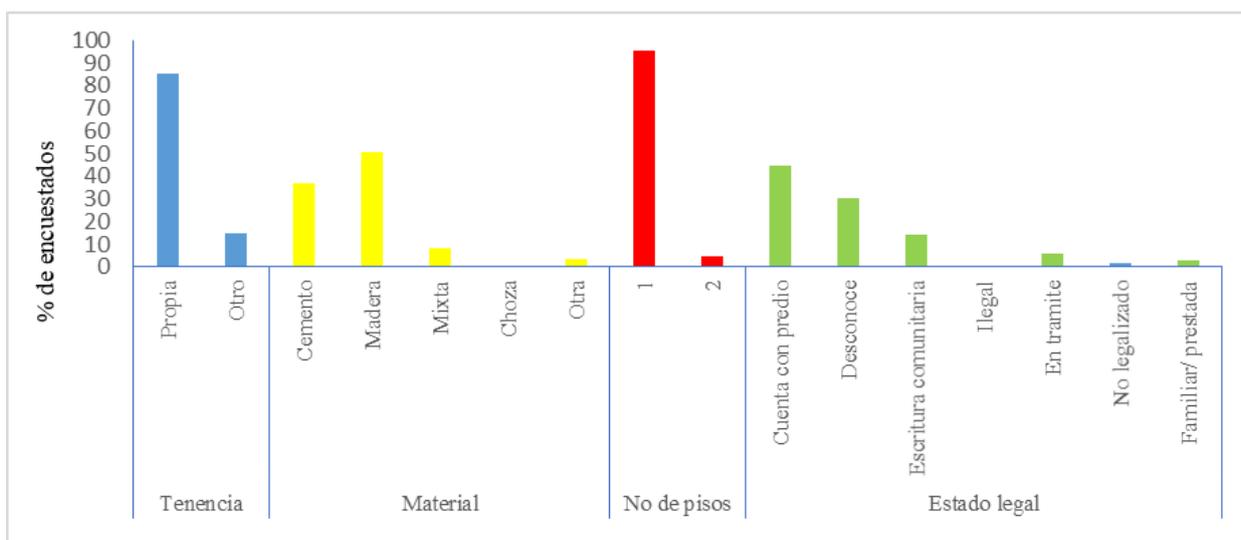


Figura 3. Características de la vivienda

En la dotación de servicios básicos (figura 4) por lo menos el 80% de los encuestados reportan disponer de Agua que para el sector es entubada y energía eléctrica, un 37% dispone de teléfono celular y en menor porcentaje disponen de internet y teléfono fijo. En las vías de acceso a las zonas encuestadas, la mayor cantidad de encuestados reporta un acceso como lastre.

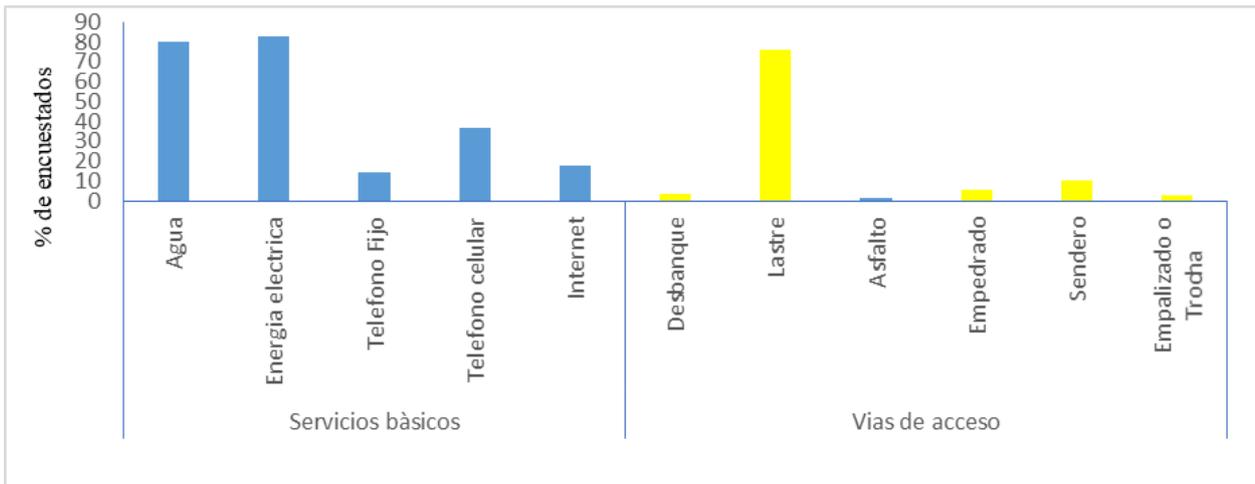


Figura 4. Servicios básicos y vías de acceso

En los servicios sanitarios (figura 5), la mayor cantidad encuestados utilizan un pozo y en segundo lugar servicio higiénico dentro de la vivienda, las aguas residuales mayoritariamente son depositadas en cuerpos de agua, el alcantarillado público y en ríos o cuerpos de agua, en los residuos sólidos un 75 % los disponen en el camión recolector con frecuencias predominantes de 1 y 2 veces a la semana.

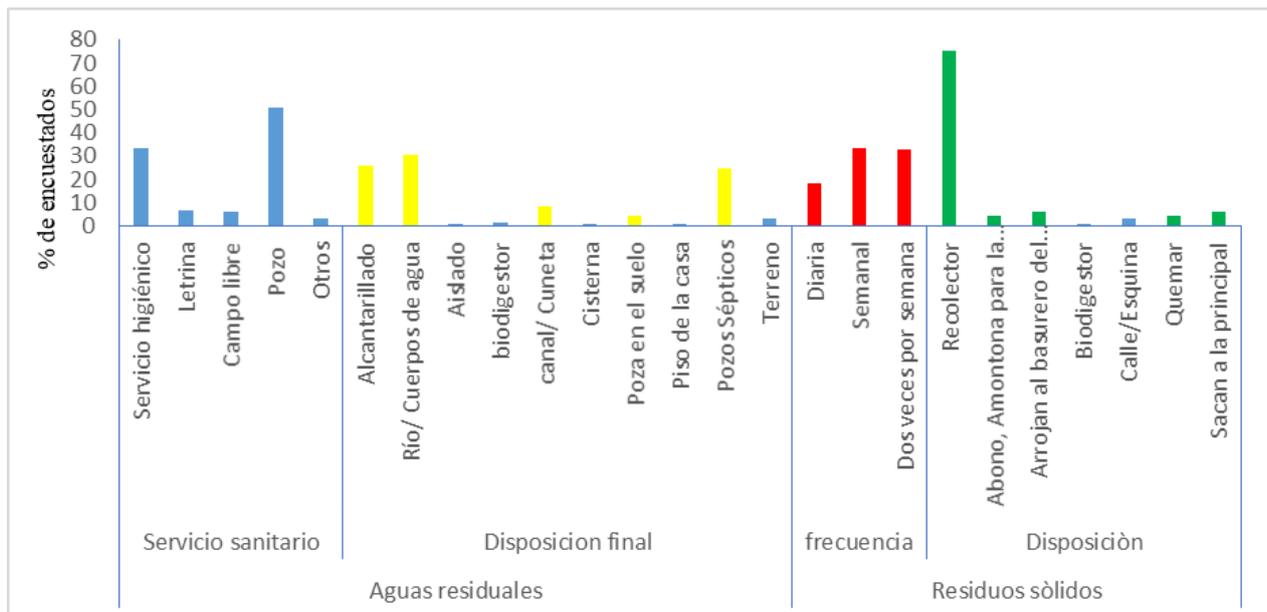


Figura 5. Servicios sanitarios

Los principales elementos de riesgo (figura 6) son la presencia de ríos y esteros, y un 10% con la presencia de zonas de inundación. En cuanto a las afectaciones por el evento del 30 de Diciembre del 2016, un 65% reporta afectaciones en el servicio de agua y un 25% reportaron afectaciones en el servicio eléctrico, también se reportaron afectaciones con más de 10% de los encuestados en caminos y carreteras, desbordamiento e inundaciones y daños en la vivienda.

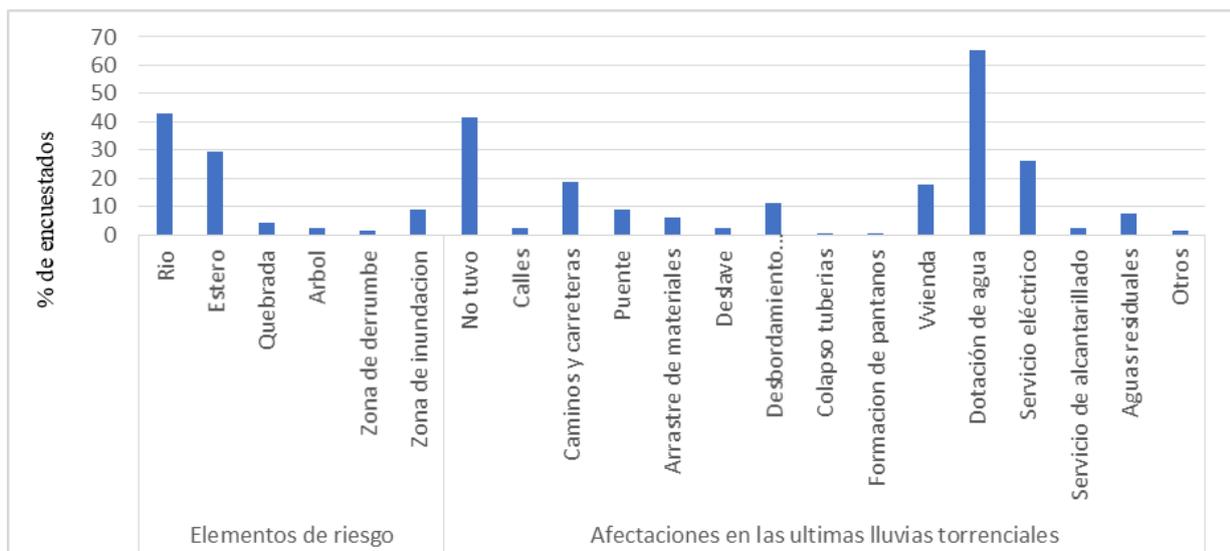


Figura 6. Elementos de riesgo y Afectaciones de lluvias torrenciales

La memoria de desastres (figura 7), plantea la presencia de eventos como crecientes por exceso de lluvias y deslizamientos reportados por lo menos por un 49% de la población, eventos como deslizamientos y conflictos de tierra se reportan por lo menos en un 18% de la población. En cuanto a los períodos de retorno (Tabla 1), Deslizamientos, crecientes y destrucción de puentes y carreteras son reportados con periodos inferiores a 1 año en su mayoría, mientras que los conflictos entre comunidades presentan periodos constantes desde menos de un mes hasta más de 5 años.

Tabla 1. Periodos de retorno de los eventos

	Porcentaje de la población que reporta evento			
	Menos de un mes	1 mes a 11 meses	1 a 5 años	Más de 5 años
Deslizamiento	0,7	27,4	0,7	
Inundación		43,0	1,5	
Conflicto de tierra	5,9	0,7	4,4	6,7
Destrucción puentes		54,8		
Otros	0,7	1,5		

La preparación ante emergencias (figura 7) muestra que por lo menos la mitad de los encuestados ha presenciado eventos de crecida de lluvias y destrucción de puentes y caminos, un 69% de la población no ha recibido capacitación, con más de un 10% de reporte de los encuestados encontramos en técnicas de primeros auxilios y simulacros, un 45% de los encuestados reporta poseer linterna y un 16% equipo de primeros auxilios. En la distancia al punto seguro (figura 8), más del 50 % de encuestados se encuentra entre 101 a 500 m del punto seguro y un 25% está entre 11 a 100 m.

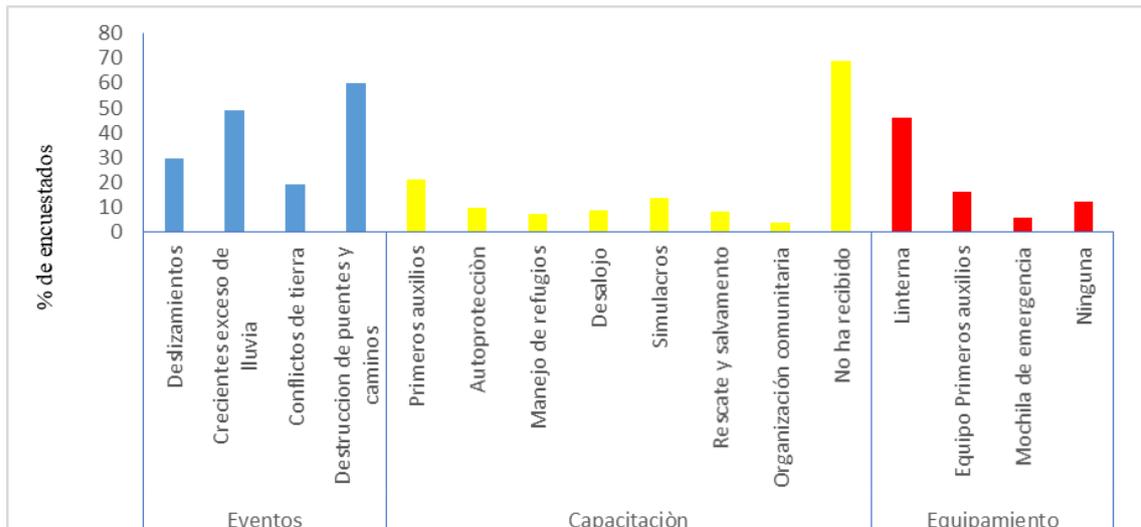


Figura 7 Preparación ante emergencias

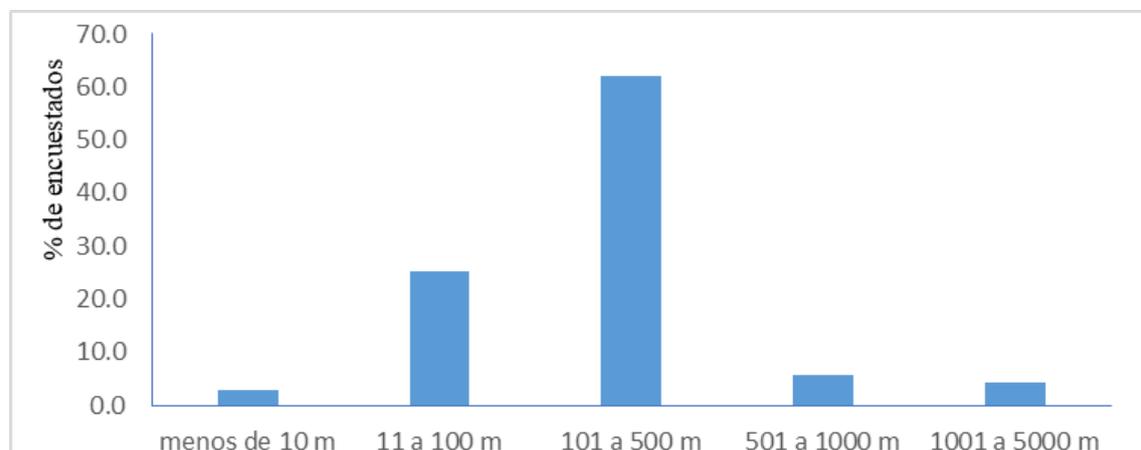


Figura 8. Distancia al punto seguro

Los eventos de desbordamiento de ríos generan en diferentes zonas efectos como Arrastre de árboles, animales y restos de edificaciones, Inundación de vegas y destrucción de cosechas, Interrupción del tráfico en las carreteras, arrastre de puentes por obstrucción pro troncos de árboles gruesos, inundación y desalojo de casas próximas a las zonas de puentes. (Sánchez y Ollero (2017). En el caso del evento en mención, recorridos por el cauce del rio en sus cabeceras, se detectaron cinco acumulaciones de empalizadas de troncos arrastrados por la corriente, lo cual fue generando represas dentro del río y que pudo en el momento de desbordamiento, generar una mayor fuerza de arrastre. Esto generó a su vez la destrucción del Dique Turístico ubicado en la parroquia Shell, además de inundaciones en el cantón Puyo en los sectores Las Palmas, Picolino y El dorado.

A nivel regional en comunidades de la provincia del Napo, Ecuador Existen reportes de afecciones por inundaciones, destrucción de puentes y caminos, teniéndose también como principales equipos de emergencia, la linterna (más del 75 % de la población) y kit de primeros auxilios (menos del 40% de población), además de reportar menos del 50% de la población entrenamiento en primeros auxilios, técnicas de autoprotección, evacuación y rescate (Abril et al., 2022)

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en las respuestas de la memoria de desastres con respecto a las variables sexo, edad, tiempo de residencia y nivel de instrucción. El análisis multivariante con componentes rotados considerando los factores edad, hace cuánto tiempo ocurrieron los desastres más reportados, distancia al punto más cercano y personas que residen en

el hogar reportó un valor de 0,54 en el coeficiente de Kaiser-Meyer-Olkin y un valor de 0,95 para el alfa de Cronbach. Toro et al., (2022) plantean que el coeficiente de Alfa de Cronbach es utilizado para medir la fiabilidad de un instrumento con el que se generó la información, donde valores entre 0,8 a 0,9 son considerados como aceptables. Shrestha (2021) plantea que el coeficiente de Kaiser-Meyer-Olkin se utiliza para determinar si el tamaño de la muestra es adecuado, donde un rango entre 0,5 a 0,6 es aceptable si el tamaño de muestra oscila entre 100 y 200.

El análisis bidimensional en función de los casos (figura 9) muestra que la mayoría de los encuestados, se encuentran agrupados en un solo conjunto, mientras que el análisis en función de las variables (figura 10), muestra a la variable edad como la más lejana al centroide y por lo tanto la que representa mayor variabilidad, seguido por Hace cuánto tiempo ocurrieron los deslizamientos.

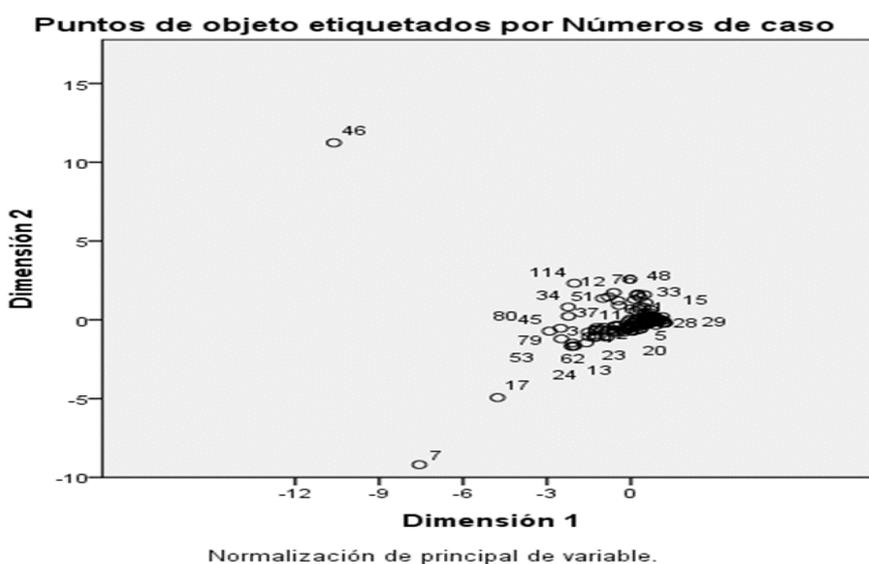


Figura 9. Análisis bidimensional en función de los casos

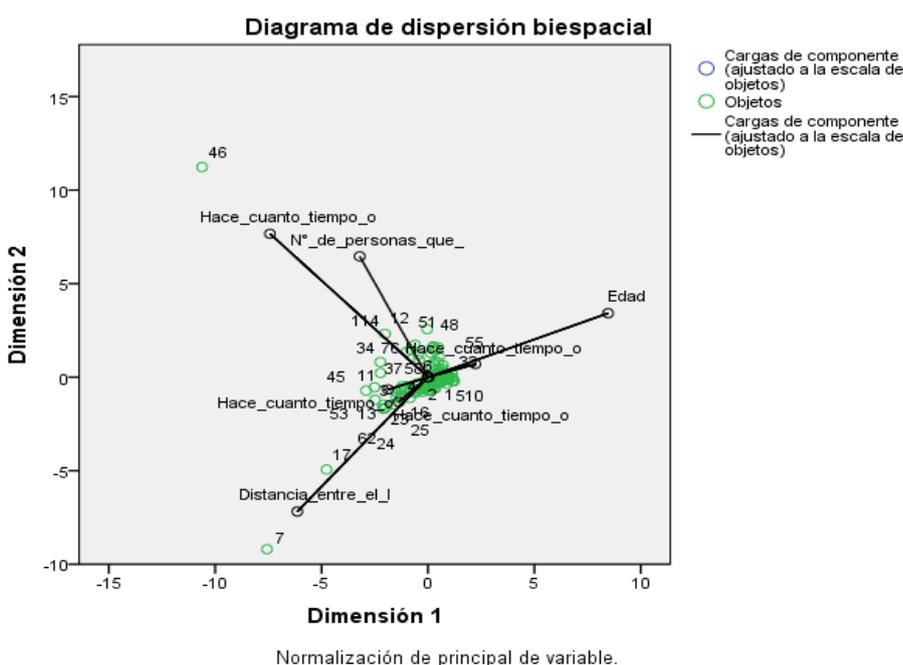


Figura 10. Análisis bidimensional en función de las variables

04 CONCLUSIONES

Se concluye que las zonas aledañas al río se encuentran expuestas a riesgos por crecidas, las principales afectaciones por las lluvias torrenciales fue daños en la dotación de agua, siendo también relevantes afectaciones en el servicio eléctrico, daños en la vivienda y destrucción de carreteras y vías de acceso.

La memoria de desastres plantea que este evento estos eventos son frecuentes, que la linterna es el equipo de emergencia con mayor reporte en la población, la cual en su mayoría no ha recibido capacitación sobre el manejo de emergencias.

RECONOCIMIENTO

Se expresa un especial reconocimiento al personal de la Universidad Estatal Amazónica y del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, que colaboró en el desarrollo del presente trabajo.

05 REFERENCIAS

- Abril R., Yanez Y., Villarroel C., Idrovo I., Caicedo E., Vargas M., Tapia A. and Valle M. (2019)** "Influence of Land Use and Geomorphology on the Flow of the Pindo River, Ecuador". Journal of Environmental Hydrology. Vol 27, no 1pp. 1-9. ISSN 0022-1694. International Association for Environmental Hydrology.
- Abril R.V., Marín H. C., Salazar C. I., Amancha N. J., Alvarado S. S., Aguinta S. E. y Bravo C.A. (2022).** "Riesgos socioambientales de cinco comunidades rurales de la provincia del Napo en la Amazonía ecuatoriana". Cuban Journal of Agricultural Science, vol 56 no 4 pp. 1-17. ISSN 2079-3480. Instituto de Ciencia Animal, Universidad Agraria de la Habana.
- Aristizábal E., Arango M. I. y García I. K. (2020).** "Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos." Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía. Vol 29 no1. Pp. 242-258. ISSN: 2256-5442. Universidad Nacional de Colombia
- Cuadras C. (2014).** "Nuevos Métodos de Análisis Multivariante". CMC Editions. ISBN: 84-7665-771-4 Barcelona.
- Encalada A. C., Guayasamin J.M., Suárez E., Mena C. F., Lessmann J., Sampedro C., Martínez, P.E., Ochoa-Herrera V., Swing K., Celinšćak M., Schreckinger J., Vieira, J., Tapia A., Serrano C., Barragán K., Andrade S., Alexiades A., y Troya M. J. (2019).** "Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas: Herramientas, y guía de invertebrados para el diseño efectivo de programas de monitoreo". Trama ISBN: 978-9942-808-03-5, Quito.
- Hair J., Anderson R., Tatham R. y Black W. (1999).** Análisis Factorial. En: Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W., (eds) "Análisis Multivariante". ISBN: 9788483220351. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- IBM, International Business Machine. (2013).** SPSS Statistic
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010).** "Resultados Del Censo 2010 De Población Y Vivienda En El Ecuador, Fascículo Provincial Pastaza" extraído de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pastaza.pdf>

- Montoya L. H. y Rodríguez Y.J.** (2020). “Efectos de crecidas en el transporte de material particulado orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España)”. *Tecnura*, vol 24no 65, pp. 64-76. ISSN: 2248-7638. Universidad Francisco José de Caldas.
- Toro R., Peña M., Avendaño B., Mejía S. y Bernal A.** (2022). “Análisis Empírico del Coeficiente Alfa de Cronbach según Opciones de Respuesta, Muestra y Observaciones Atípicas. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica. RIDEP* vol. 2 no 63, pp.17-30. ISSN: 1135-3848. Universidad de la Rioja.
- Sánchez F. y Ollero A.** (2017). “La crecida de Junio de 1933 del río Turia en Teruel: Estimación y puesta en valor”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* vol 1 no 75, pp. 75-100. ISSN: 0212-9426. Asociación Española de Geografía
- Shrestha N.** (2021). “Factor Analysis as a Tool for Survey Analysis”. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*. vol. 9, no. 1, pp. 4-11. ISSN 2328-7306. Science and Education Publishing Co

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Ricardo Vinicio Abril Saltos <https://orcid.org/0000-0003-1544-4360>

Realizó el levantamiento de información, procesamiento e interpretación de los resultados

Realizó la estructura de la investigación, redacción y revisión del documento final

Fabricio Antonio Ríos Rodríguez <https://orcid.org/0000-0002-2003-9610>

Realizó el levantamiento de información, procesamiento e interpretación de los resultados y

redacción del informe final

Miriam Raquel Morocho Noboa <https://orcid.org/0009-0006-8545-0669>

Realizó el procesamiento de información

Guía metodológica para la educación ambiental en una disciplina técnica de obras civiles

Susana Márquez Robert

E-MAIL: susanamarquezbobert@gmail.com

Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona (UCPEJV), Cuba.

Enrique Cecilio Cejas Yanes

E-MAIL: enrique.cejas.yanes2013@gmail.com

Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona (UCPEJV), Cuba.

RESUMEN

La preparación de profesores constituye en la actualidad un aspecto necesario para integrar la temática ambiental al proceso pedagógico profesional de las disciplinas técnicas. La contextualización e integración de la educación ambiental a los contenidos de las asignaturas que la conforman requieren de un proceder metodológico que lo asocia con la vida profesional y nuevas vías de trabajo. Es objetivo socializar una guía metodológica para el tratamiento de la educación ambiental en la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles. Se identifican acciones para la orientación hacia el trabajo metodológico, aspectos sobre educación ambiental, habilidades y valores a formar. Es resultado un aporte en la homogeneidad de trabajo para los profesores y una concepción viable del proceso educativo.

PALABRAS CLAVES: contextualización, disciplina, educación ambiental, integración, metodología.

Methodological guide for environmental education in a technical discipline the civil Works.

ABSTRACT

The preparation of teachers is currently an aspect necessary to integrate the environmental theme to the professional pedagogical process of technical disciplines. The contextualization and integration of environmental education to the contents of the subjects that make it require a methodological procedure that associates with professional life and new workways. It is objective to socialize a methodological guide for the treatment of environmental education in the discipline Project, Construction and Conservation of Civil Works. Actions are identified for the orientation towards methodological work, aspects of environmental education, skills and values to form. It is a contribution in the homogeneity of work for teachers and a viable conception of the educational process

KEYWORDS: contextualization, discipline, environmental education, integration, methodology

01 INTRODUCCIÓN

La preparación de profesores en la actualidad precisa de una atención. Como proceso de formación continua, aporta los conocimientos con carácter científico-técnico y habilidades necesarias al profesional de la educación superior para la utilización de diversos métodos y herramientas en el tratamiento de contenidos específicos. En la década del setenta, desde la perspectiva de la educación ambiental en las Instituciones de Educación Superior (IES), se inició el lanzamiento de una campaña mundial a su favor. La Conferencia de Tbilisi (1977), abordó la necesidad de integrar la temática ambiental a la educación mediante la elaboración del contenido cognitivo con naturaleza holística. Según la UNESCO (2006), este conocimiento debe ser adquirido a través de las diferentes disciplinas, tanto científicas como tecnológicas.

La carrera Licenciatura en Educación Construcción está integrada, además de las disciplinas de formación general, por cinco técnicas. La nombrada Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles está compuesta por obras viales, hidráulicas, puentes y alcantarillas en un mayor número que las restantes. En la exploración teórica y empírica realizada, se pudo evidenciar la no contextualización de la educación ambiental en los objetivos y contenidos de los programas de las asignaturas y en las observaciones a clase exigua sistematización, en algunos casos, por desconocimiento de la temática. Por lo que, se determinó realizar la preparación sobre la base de sus contenidos.

Las construcciones tienen un alto impacto sobre el medio ambiente, se utilizan recursos naturales renovables y no renovables en grandes cantidades, generando un alto consumo antes, durante y después de construidas al propiciar emisiones de CO₂ y el vertido al medio de residuos líquidos, sólidos y gaseosos que en su mayoría no tienen tratamiento alguno, causando un deterioro en la calidad de los distintos ambientes agua, aire, tierra y ecosistema en general.

El conocimiento de los problemas ambientales e impactos que, según sea la actividad, originan al medio ambiente las obras civiles, precisan de su socialización. En la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles se estudian contenidos referentes a los estudios de suelos, la topografía, las obras viales (carretera, calles, vías férreas), obras hidráulicas (hidráulica, hidrología, presas, acueductos), puentes y alcantarillas, esencialmente desde su ciclo de vida (proyecto, construcción y conservación).

La guía metodológica como refiere Arevalo (2017), representa un documento orientador y conduce hacia un objetivo. Se presenta en el artículo una guía con orientaciones de los aspectos a tener en cuenta para el tratamiento de la educación ambiental, criterios para su uso, habilidades y valores a formar. Incluye otros temas sobre impacto ambiental en las obras civiles, documentos y normativas sobre la temática en la construcción desde su ciclo de vida (proyecto, construcción y conservación).

La preparación de los profesores sobre aspectos esenciales para el tratamiento de la educación ambiental en la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles constituye una herramienta que se desarrolla teniendo en cuenta lo metodológico los enfoques problematizador, contextualizado e integrador desde los componentes académico, laboral, investigativo y extensionista. Por ende, en respuesta a la política educacional y ambiental se encauza la preparación hacia un desarrollo integral, sostenible e inclusivo. Por su flexibilidad, la guía ofrece la posibilidad de

trabajar, de manera integrada, las acciones y actividades en correspondencia con las particularidades de cada asignatura en el proceso educativo.

Asimismo, ayuda a establecer mecanismos para la integración de diferentes esferas de actuación y sectores de la construcción; promueve el acceso a diversas fuentes bibliográficas y el incremento de la educación y la cultura en términos de desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático. Por tal motivo este artículo tiene como objetivo general socializar una guía metodológica para el tratamiento de la educación ambiental en la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles.

02 CARACTERIZACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA

Investigadores como (Cipagauta y Pachón, 2017) la consideran, operaciones o pasos en su secuencia lógica, señalando generalmente quién, cómo, dónde, cuándo y para qué han de realizarse.

Consideran además y comparten el criterio dado por (Arevalo, 2017), al describir en su documento las Guías Archivísticas, que es un documento a través del cual se orienta o conduce hacia un objetivo señalado. Teniendo en cuenta estos criterios se asume la definición pues representa un documento orientador para el tratamiento de la educación ambiental y conduce hacia un objetivo específico. En el caso de la investigación la guía metodológica que se define contiene los principales aspectos relacionados con la temática ambiental. Facilita el análisis de la información, cómo integrar la educación ambiental desde las potencialidades educativa de los contenidos y documentos para el cumplimiento del objetivo planteado.

Constituye un apoyo para la preparación de profesores en la temática ambiental y su tratamiento. Abarca los temas de las asignaturas de la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles. Su estructura facilita una integración y solidez de los conocimientos. Los documentos referenciados van orientados a enriquecer aspectos, tanto técnicos como ambientales establecidos en la política del estado cubano, la construcción y del Ministerio de ciencia, tecnología y medio ambiente CITMA, en su análisis y valoración desde las potencialidades educativa de los contenidos.

Teniendo en cuenta el ciclo de vida de las obras civiles (carreteras, vías férreas, presas, acueductos, puentes y alcantarillas) se describen las potencialidades de los contenidos para su contextualización e integración. Por consiguiente, los impactos ambientales que se identifican, determinan las acciones para su mitigación y/o solución.

03 GUÍA METODOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA DISCIPLINA PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE OBRAS CIVILES

INTRODUCCIÓN

La presente guía proporciona una metodología para el tratamiento de la educación ambiental en la disciplina proyecto, construcción y conservación de obras civiles como apoyo en la preparación de profesores de la carrera Licenciatura en Educación Construcción. Estructurada en 6 epígrafes que compendian un glosario de términos orientaciones, elementos esenciales para el tratamiento de la educación ambiental y documentos para consultar.

Objetivo: Orientar a los profesores sobre aspectos esenciales de carácter pedagógico, metodológico y organizativo para el tratamiento de la educación ambiental en la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles.

Alcance: Abarca todas las asignaturas de la referida disciplina, facilitando mayor integración y solidez de los conocimientos.

Beneficios: Homogeneidad de la metodología de trabajo para los profesores y facilitar la adaptación a una nueva concepción del proceso educativo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

-Cambio climático: Cambio que se produce en el clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, que tiene como principales efectos el incremento del nivel medio del mar, un incremento en la temperatura promedio anual del planeta, así como variaciones en los regímenes de precipitaciones y en la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos

-Contaminación: Incorporación al aire, al agua o al suelo de productos o elementos que afectan la salud del ser humano y otros organismos vivos, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas

-Erosión: Conjunto de procesos que causan variaciones en la superficie terrestre

-Daño ambiental: Toda pérdida, disminución, deterioro o menoscabo significativo, inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes, que se produce contraviniendo una norma o disposición jurídica

-Degradación de los suelos: Deterioro de las condiciones de los suelos ocasionada por factores tales como el bajo contenido de materia orgánica, baja fertilidad, erosión, mal drenaje, elevada compactación, salinización, contaminación, pedregosidad, rocosidad o desertificación

-Desechos peligrosos: Aquellos provenientes de cualquier actividad y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, explosivas, inflamables, biológicamente perniciosas, infecciosas, irritantes o cualquier otra, representen un peligro para la salud humana y el medio ambiente

-Desarrollo sostenible: Proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfacen las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

-Disposición final: Acción de depositar, verter, descargar, enterrar o confinar de manera permanente los residuales y desechos peligrosos en un sitio, lugar o condiciones determinadas y que, de no efectuarse de manera apropiada, ocasiona problemas sanitarios y daños al ambiente. Las aguas y el suelo son frecuentemente utilizados para la disposición final de residuales

-Efecto invernadero: Proceso natural mediante el cual la atmósfera mantiene la Tierra caliente

-Estudio de impacto ambiental: Descripción pormenorizada de las características de un proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo su tecnología y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental

-Evaluación de impacto ambiental: Procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas y

proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlos o su concesión bajo ciertas condiciones

-Gases de efecto invernadero: Gases tanto de origen natural, como antropogénico que al acumularse en la atmósfera interfieren en el intercambio natural de radiaciones entre el Sol y la Tierra. Entre ellos destacan el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), vapor de agua (H₂O), ozono (O₃), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), entre otros

-Gestión ambiental: Conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del ser humano en esta esfera

-Impacto ambiental: Alteración positiva o negativa que produce una determinada actividad humana sobre el medio ambiente

-Manejo o gestión de residuales: Combinación de etapas de un ciclo que abarca la recolección, transporte, tratamiento, reuso/reciclaje y la disposición final de los residuales generados en una actividad

-Minimización: Conjunto de medidas organizativas, operativas y tecnológicas dirigidas a la disminución de los volúmenes y concentraciones de los residuales generados en las actividades productivas, sociales y de servicios hasta el nivel mínimo factible

-Producción más limpia: Estrategia ambiental preventiva integrada que se aplica a los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente

-Reciclaje: Opción de valorización de residuales mediante la cual estos se incorporan como materias primas a un determinado proceso para su transformación en un nuevo producto

-Resiliencia: Capacidad de cualquier organismo o sistema para afrontar impactos, recuperarse y continuar su desarrollo

-Reuso o reutilización de residuales: Recuperación de materiales para ser usados con el mismo fin para el que fueron elaborados, sin que medie un proceso de transformación

-Tecnología limpia: Tecnología económicamente competitiva cuya aplicación o incorporación a los procesos, productos y servicios implica un menor consumo de materiales, agua y energía; el incremento de la eficiencia en el uso de los recursos naturales; la reducción de la generación y peligrosidad de residuos y emisiones en la fuente de origen, así como su recuperación, reciclaje o reuso con vistas a cerrar ciclos y, en general, menor impacto ambiental negativo y riesgo para los seres humanos, si se compara con las alternativas pertinentes.

ORIENTACIONES

Se exponen orientaciones pedagógicas, metodológicas y organizativas para el desarrollo y aplicación de la guía expresadas en la tabla 1.

Tabla 1. Orientaciones para el trabajo con la guía metodológica

Pedagógicas	Metodológicas	Organizativas
<ul style="list-style-type: none"> - Revisión previa de los programas de las asignaturas para determinar las potencialidades de los contenidos que se trabajarán - Planteamiento de problemáticas que inducen la motivación del estudiante y las necesidades cognitivas - Contextualización de los contenidos y términos según la asignatura, con la vida y el medio laboral (obras de construcción, empresas, institución escolar y/o universidad) y la comunidad - Determinación y preparación del tipo de actividad o forma organizativa a desarrollar teniendo en cuenta los elementos que se plantean en la guía, habilidades y valores - Integración de contenidos que revelen a través de preguntas y situaciones la valoración de los retos ambientales que se presentan en la guía - Proyección de tareas y proyectos integradores 	<ul style="list-style-type: none"> - Intercambio con el colectivo de profesores en la unificación de criterios - Utilización de métodos interactivos, dinámicos, participativos, colaborativos, grupales y de trabajo conjunto, como formas de organización fundamental, de modo que se propicie el debate constante, y aportes al trabajo en desarrollo - Selección de experiencias y modo de creatividad en la contextualización de la temática ambiental - Fortalecimiento de fuentes de información actualizadas para mantener en todo momento la motivación por la docencia - Las actividades a desarrollar deben ser contextualizadas e integradas a las acciones que en la vida social el estudiante realiza desde su papel de educador y ciudadano - Proyección de los contenidos en el accionar académico, laboral, investigativo y extensionista dando lugar a una visión integradora de la disciplina - Aplicación de procedimientos y metodologías informáticas como: redes informáticas, herramientas web y soporte técnico; proponiendo soluciones creativas e innovadoras que respondan a los requerimientos de los procesos - Valoración de los problemas ambientales existentes, posibles impactos que las actividades de construcción produzcan (causa-efecto), consecuencias, así como la solución o mitigación de estos 	<ul style="list-style-type: none"> - Debe contextualizarse cada contenido asumiendo causas, efectos y soluciones - Realización de actividades extensionistas como visitas a obras, empresas, zonas donde existan obras civiles y que permitan un cambio de ambiente educativo e instructivo - Planificación de evaluaciones teniendo en cuenta las fechas de entrega de las tareas por temas de discusión y los contenidos a desarrollar permitiendo la responsabilidad, independencia, honradez y laboriosidad ante la actividad - Confección y orientación de la actividad educativa con la vinculación del estudio con el trabajo y de la interrelación con los procesos de la construcción - Creación y organización de actividades docentes desde lo más simple a lo más complejo para que la apropiación de los conocimientos sea gradual y sistemática, facilitando la comprensión de los contenidos abordados - Realización de actividades que integren los componentes académico, laboral, investigativo y extensionista

CRITERIOS PARA EL TRABAJO CON LA GUÍA

Se tendrá en cuenta que la educación ambiental requiere de la comprensión de los procesos de la construcción (ciclo de vida) de las obras civiles. El conocimiento de los principios que se declaran, como parte de la concepción teórico-metodológica en la cual es apoyo este documento, permiten el

desarrollo de la propuesta. El profesor debe considerar la identificación de los problemas ambientales tanto a nivel global, nacional y regional por la envergadura del proceso educativo en su accionar desde lo académico, laboral, investigativo y extensionista a las relaciones de las personas y las posibles decisiones a partir de la valoración de los contenidos. Realización de un diagnóstico de la situación actual en el conocimiento de la temática ambiental y documentos normativos a estudiantes.

Durante la ejecución de las actividades en los entornos o esferas de actuación debe manifestarse la relación entre los componentes para que sean considerados un sistema, lo que significa que sean concatenadas, coherentes e interdependientes.

El profesor debe velar porque en la planificación, ejecución y control de las actividades se cumplan los objetivos previstos y el estudiante se apropie de los conocimientos y logre la participación en las decisiones desde la investigación.

Durante el desarrollo de las actividades se debe profundizar en la formación de valores que propician el crecimiento de la personalidad del estudiante.

Se debe establecer la relación entre la actividad y la comunicación, lo cognitivo afectivo en cada una de las acciones a desarrollar.

HABILIDADES Y VALORES A FORMAR

La habilidad es el resultado de la reiteración de la acción, en situaciones novedosas, en que, aunque se tienen en cuenta las particularidades psíquicas que posee el sujeto, lo fundamental radica en la lógica y en el ordenamiento de la ciencia, (Álvarez, 1997). La formación de valores es posible alcanzarla en cada clase desde los contenidos, en las actividades docentes y extradocentes, en los momentos de interrelación estudiante-profesor con la lógica creativa e investigativa mediante la visión, valoración y solución del problema. Se vinculará la formación ciudadana con la profesional y la formación humanista con la laboral.

Tabla 2. Habilidades a trabajar para el tratamiento de la educación ambiental

Habilidad	Operacionalización
Identificar	Analizar el objeto de estudio Caracterizar el objeto de estudio Establecer la relación del objeto con un hecho, concepto o enfoque de los ya conocidos (efecto y causa) Distinguir el objeto de otros por sus rasgos (consecuencias)
Caracterizar	Definir contenidos Analizar efecto, causa y consecuencia Establecer relaciones
Demostrar	Determinar el objeto o contenido Relacionar lo esencial del contenido Determinar los argumentos o razones (hechos, juicios) que prueba la interrelación de los contenidos Exposición lógica y coherente de los argumentos que se relacionan con el contenido
Ejemplificar	Determinar el fenómeno u objeto de ejemplificación Determinar los rasgos esenciales del fenómeno que lo distingue de otros Transferir a situaciones, hechos o sujetos concretos los rasgos esenciales distintivos del fenómeno dado como objeto de ejemplificación
Valorar	Caracterizar el objeto Establecer criterios de valoración Argumentar el juicio expresado

	Comparar teniendo en cuenta los criterios de valoración Emitir un juicio personal como producto de la comparación realizada.
Explicar	Determinar el objeto, fenómeno o proceso Organizar los datos ofrecidos Relacionar las partes con el todo Separar lo esencial de lo no esencial Determinar las relaciones causa - efecto Responder a la pregunta: por qué, para qué, cuándo, dónde
Comunicar	Expresar, con fluidez y coherencia, de forma oral y escrita el análisis de la problemática objeto de estudio Demostrar en sus intervenciones el uso correcto de la lengua materna Establecer relaciones empáticas y criterios personales

Los valores se trabajan en la expresión de la sensibilidad ante todo lo humano, su educabilidad y las potencialidades infinitas del crecimiento y mejoramiento. Estará dado, además, en la entrega y consagración honesta y honrada a la dirección y desarrollo del proceso educativo, el respeto a la dignidad en las interrelaciones personales, la comunicación y el trato, el tacto y la discreción en el manejo de los criterios, conflictos y dilemas, así como a los logros profesionales individuales, colectivos y la responsabilidad ante la problemática ambiental.

EJEMPLO

Del ciclo de vida de la construcción de obras civiles, el proyecto de carreteras, se le explica qué es el proyecto, y que aspectos lo integran. Se nombran las posibles causas y consecuencias que se originan al realizar un mal levantamiento en la zona a proyectar, el desvío de la trayectoria de un río o las corrientes marinas cuando se proyecta en zonas costeras, así como, el daño ecológico y físico a la zona. El detrimento a la salud del ser humano en áreas habitables, entre otros impactos ambientales que se originan cuando se realiza un diseño de proyecto de nueva obra y/o de conservación insostenible, recalcando la responsabilidad y honradez.

Insistir en la valoración de estos tipos de problemas ambientales desde su análisis educativo con un enfoque problematizador y contextualizado de los contenidos. Primero, bajo la asesoría del profesor y después el estudiante paulatinamente va resolviendo por sí mismo otros casos al exponer experiencias que le permitan la valoración de la situación.

ELEMENTOS ESENCIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

Definiciones de educación ambiental relevantes, principales retos ambientales que se deben afrontar, potencialidades de los contenidos de la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles, elementos del cambio climático relacionados con la educación ambiental y ejemplos de cómo trabajarla con enfoque problematizador, contextualizado e integrador desde los componentes académico, laboral, investigativo y extensionista. Documentos que se pueden estar trabajando relacionados con la temática.

DEFINICIÓN DE EDUCACIÓN AMBIENTAL

Se describen definiciones que durante la historia se consideran antecedentes por investigadores. Su conocimiento permite establecer criterios en cuanto a su contextualización en diferentes áreas del conocimiento. Se presenta en este documento las más significativas en su comprensión histórica dadas por la Unesco (1977), Ley 81 de Medio ambiente (1997), Meza (2015), Ley 150 del Sistema de

los Recursos Naturales y el Medio Ambiente SRNMA (2022) y desarrollo sostenible en el Informe Brundtland (1983).

Por lo tanto, la educación ambiental se resume en:

Un elemento imprescindible para llegar a conseguir un cambio de valores tanto individual como colectivo en la actual relación de los seres humanos con el medio.

Una corriente internacional de pensamiento y acción.

Un proceso continuo y seguro, aunque lento, para conseguir la mejora ambiental y un desarrollo sostenible.

Un medio para capacitar a las personas en la toma de decisiones y fomentar en ellas la participación.

Una fuente de experiencias de calidad para los beneficiarios que, además de enriquecer su personalidad, establecen las bases necesarias para comprender los problemas que les afectan.

Una disciplina tanto formal (académica) como no formal (extensionista), indispensable para cambiar las actitudes de las personas de manera que mejoren su capacidad para evaluar los problemas ambientales y los puedan abordar.

Principales retos ambientales que se deben afrontar. Valdés y Llivina (2021).

La degradación de los suelos

El deterioro del saneamiento y las condiciones de vida en los asentamientos humanos

Efectos y contaminación de las aguas, el aire y los suelos

La deforestación

La pérdida de la diversidad biológica

La contaminación atmosférica

La carencia de agua

El manejo de residuos

Procesos erosivos y de saturación

Manejo de la vegetación, la fauna y el paisaje

Manejo del tránsito

Proyección de las facilidades temporales

Intervención en el medio natural

Los eventos de desastres y de las temperaturas

Aumento del nivel del mar

Las tormentas y eventos hidrometeorológicos devastadores (consecuencias)

Incremento de las sequías

Los gases de efecto invernadero

Potencialidades educativas de los contenidos de las asignaturas de la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civiles desde su ciclo de vida.

Las potencialidades permiten desarrollar la asignatura desde sus contenidos, en relación íntegra con la construcción y el medio económico, social y ambiental. Se presenta desde el ciclo de vida y cómo se deben trabajar.

Proyecto: Etapa de diseño y selección de los materiales a emplear

En la proyección de una obra vial, hidráulica, puentes y alcantarillas considerar los lugares y tipo de proyecto que menos afectan el entorno para el diseño; tener en cuenta la ubicación de la obra, su trayectoria, condiciones topográficas; reflexionaren acciones para el tratamiento de residuales líquidos y sólidos y su disposición final y los criterios de prevención de desastres naturales en caso de contaminación del aire, el agua, el suelo entre otras. Decretar la zona para la extracción de materias

primas y producción de materiales de construcción en decisiones de proyecto que puedan provocar efectos negativos en el medio ambiente y afectaciones a la salud humana, si no se ponderan de forma racional.

En las investigaciones de suelo cada inversionista debe considerar los equipos de perforación y transporte que produzcan la menor afectación a la flora, la fauna, el suelo, los flujos de agua, subterráneas y superficiales. Definir caminos auxiliares en zonas menos boscosa pero que además permitan su continuo uso después de terminada la obra. Las aguas superficiales y subterráneas velar por no ser afectadas en su estudio. En obras hidráulicas para el planeamiento tener en cuenta desde el inicio todas las condiciones de la zona, dimensionamiento de las instalaciones según la demanda y de su desarrollo posterior con sus consecuencias. Estado en cuanto a las propiedades mecánicas, físicas, químicas y dinámicas del suelo. El comportamiento natural de flujo, en el régimen freático y en el ciclo hídrico regional que éstas conllevan.

Construcción: Etapa de la ejecución de obras

Considerar que es la etapa que mayor impacto produce al medio ambiente. Las facilidades temporales para el albergamiento del personal, talleres, oficinas y almacenes de apoyo a la construcción de la obra, muchas veces se ubican incorrectamente, produciendo afectaciones al paisaje, no cumpliendo con los requisitos para el tratamiento y disposición final de residuos. Equipos pesados y elementos constructivos que en muchos casos permanecen durante muchos años en el lugar.

El movimiento de tierra con los desbroces y construcción de explanaciones en la mayoría de las obras resultan excesivos, provocando afectaciones a la capa vegetal y a la vegetación existente, compactación del suelo y alteraciones al entorno por cierre de vías. La tupición de las redes de drenaje existente por manipulación y almacenamiento incorrecto de materiales y depósitos, además actividades que originan emisión de ruido y polvo.

La ejecución de viales con la compactación excesiva altera las propiedades mecánicas del suelo y con el tiempo originan la erosión del terreno, afectación a la vegetación por ancho excesivo de las trochas. En zonas costeras o en cayos cuando se realizan obras viales, no siempre se crean condiciones para mantener la corriente marina, lo cual provoca afectaciones al ecosistema. El trazado de canales con los procesos erosivos y deslizamiento de laderas. Aspectos hidrológicos en diferentes zonas bajas, montañas y laderas según el tipo de obra hidráulica. Afectación del uso del suelo e incomodidad en las comunidades. Alteración de la salud por posible aparición de vectores infecciosos e incremento de niveles sonoros. Alteraciones sobre la dinámica fluvial por aporte de sedimentos, alteraciones del equilibrio hidráulico y estabilidad geomorfológica de laderas.

Verifique la existencia de plantas de reciclaje de escombros dentro del área de influencia del proyecto. También es posible reutilizar los escombros para la preparación de morteros dentro de la misma obra. Almacenamiento del suelo orgánico removido para su disposición material en el paisajismo final del proyecto.

Conservación: Etapa de explotación de la obra

La transportación por vías terrestres (carreteras y vías férreas) de materiales que vierten emisiones contaminantes a la atmósfera, al agua y al suelo. Los principales impactos están en la transportación de materiales y productos que sin las medidas adecuadas producen derramamiento en la vía. El

estado físico, técnico y constructivo de las vías, acciones que se realizan en el mantenimiento y reparación, así como el depósito de los desechos a partir de estas acciones.

Incremento de riesgo para los asentamientos aguas abajo. Cambio en el uso tradicional de la tierra. Conflictos por el uso del agua, patrones del régimen de caudal de ríos y geomorfología fluvial. Influencia en los ciclos de vida de las obras hidráulicas.

Las actividades de recolección, traslado y disposición final de materiales y residuos originan afectaciones por contaminación del aire por polvo, gases, el agua y la creación de vertederos de escombros que generalmente son ubicados incorrectamente, convirtiéndose en basureros y focos potenciales de contaminación, con todos los riesgos que esto implica. Esta situación se presenta en todas las etapas, pero se hace más crítica en la etapa de demolición. Disposición de material proveniente del fresado y corte de los pavimentos en mal estado técnico. Generación de residuos peligrosos (lubricantes, aceites, combustibles, sustancias químicas o sus respectivos empaques) que puedan aparecer, se requiere separarlo de los demás tipos de residuos (para evitar que se contaminen y crezca el volumen de residuos para manejar).

En la etapa de abandono del sitio de la obra

Los restos de construcciones deterioradas o escombros producto de la demolición son fuentes contaminantes del medio ambiente, cuando no se procede a la limpieza y restauración del paisaje natural mediante la siembra de vegetación u otros procedimientos de restauración y rehabilitación del terreno. Reutilización al máximo de los elementos demolidos para minimizar la generación de escombros.

ELEMENTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SU RELACIÓN CON LA EDUCACIÓN AMBIENTAL

La Estrategia Ambiental Nacional (EAN) para el período 2016/2020 resalta en las líneas de trabajo la capacitación de los recursos humanos, la educación ambiental en el sistema nacional de educación, comunicación educativa para el desarrollo sostenible y educación ambiental para la ciudadanía. El tema del cambio climático figura como uno de los temas priorizados para este período estratégico y en lo adelante. Ver Convención Marco de las naciones unidas sobre cambio climático.

El profesor debe hacer alusión a los términos que se plantean en la guía siempre que trabaje un contenido y lo relacione con la temática ambiental. En este aspecto, importante definir y caracterizar el cambio climático y los efectos que en la actualidad produce. Cómo en las obras civiles sus efectos en el aumento de la temperatura, del nivel del mar, los eventos meteorológicos entre otros ya mencionados anteriormente, inciden en ellas.

EJEMPLO

En la etapa de construcción los trabajos de pavimentación requieren del asfalto una temperatura determinada, estas actividades en nuestro país se realizan durante el día. Consecuencia, cuando se vierte es mayor la temperatura normada, los obreros están expuestos a los vapores, del producto y del ambiente ocasionando efectos nocivos si no se lleva protección.

El razonamiento sobre la realidad como una práctica permanente y constantemente problematizadora, contribuye a la toma de conciencia de todos los problemas que se dan en el contexto. El deterioro del clima por las grandes caídas de lluvia que originan crecidas de ríos e inundaciones destruyen las calles, canales, presas, puentes y alcantarillas. Ejemplo de ello, los huracanes que pasan por el territorio cubano originando pérdidas materiales, principalmente en la zona central y oriental.

Hacer la reflexión que todos debemos evitar acciones en contra del medio ambiente y sus recursos naturales. Motivar a tomar acciones tales como:

- No tirar basura (latas, papeles, comida) en el piso de los locales, calles, carreteras o ríos
- No destruir los bosques con la tala de sus árboles e incendios para establecer cultivos
- No desperdiciar el agua cuando nos bañamos, lavamos ropa, autos y las manos
- Arreglar tuberías y accesorios para evitar los salideros de agua
- Reutilizar materiales y objetos como las llantas, envases, pomos plásticos y otros
- No derramar combustibles, aceites, materiales restantes de la construcción en vertederos, alcantarillados o la calle
- Participar en la protección y conservación de los recursos naturales de nuestra comunidad

Así como, otras acciones relacionadas con la protección y conservación del medio ambiente tanto en los centros de trabajo o estudio como en la comunidad y el hogar.

Comprender las principales causas y consecuencias del cambio climático, es estar desarrollando en los estudiantes, sentido de responsabilidad y en los profesores el conocimiento para asegurar que adopten medidas adecuadas al respecto en su accionar pedagógico.

El trabajo de grupo, preguntas de reflexión, identificación de las actividades e impactos son métodos que permiten el intercambio entre profesor y estudiante. En cualquiera de los ámbitos que se imparta la educación ambiental, es importante formar e informar sobre los cambios que están ocurriendo en el clima del planeta y sus implicaciones. Se comprenda qué es el cambio climático, en qué consiste, reconocer qué tan vulnerables somos, las acciones que debemos desarrollar para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, las medidas de adaptación al cambio climático y cómo reducir los impactos negativos que generan los cambios del clima en nuestros medios de vida. Ver documento Plan de estado para el enfrentamiento al cambio climático. Tarea Vida y Decreto 86 del Enfrentamiento al cambio climático 2023.

En la construcción de obras civiles los gases provienen de las maquinarias, teniendo en cuenta la relación peso/volumen. En este sentido existen maquinarias pesadas, semipesadas, equipos livianos, los que pueden ser móviles, fijas, impulsadas o transportadas donde su estado técnico impacta en el medio ambiente.

En su mayoría emiten gases como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno (NO), óxido nítrico (NO₂) y partículas en suspensión (polvo).

Es muy importante que el profesor profundice en el tema, las causas (manejar el fenómeno de efecto invernadero y calentamiento global), consecuencias e impactos del cambio climático en la actualidad y cómo afecta en cada actividad de la construcción según el ciclo de vida. Para una mayor comprensión sobre el tema y si las condiciones lo permiten se puede presentar o indicar como tarea al grupo (con guía de observación), analizar algún video según el contenido a trabajar, por ejemplo "Canción de la Tierra" por Michel Jackson. Videos donde se muestre el mal manejo del ser humano de las tecnologías, recursos naturales y acciones en la construcción, entre otros.

Para problematizar el contenido se sugiere trabajar noticias de actualidad relacionada con el cambio climático (la noticia tiene que estar previamente lista) y se procede a hacer preguntas de reflexión.

Para contextualizar el contenido se referirá a algún acontecimiento atribuido al cambio climático que haya ocurrido en su comunidad y/o centro laboral. De esta manera, cada grupo exponga su

experiencia. Al finalizar la exposición el profesor podrá preguntar: ¿Están preparados para afrontar estos impactos, si ocurrieran nuevamente?

Haga la reflexión que todos debemos contribuir a evitar acciones en contra del medio ambiente y nuestro planeta en general. Resalte que algunas prácticas como la deforestación y quema de los bosques, la producción de grandes cantidades de basura, el depósito de materiales en las calles, y la contaminación de las fuentes de agua y aire, contribuyen a las causas que originan el cambio climático.

El ciclo hidrológico

¿Qué ocurre si este ciclo hidrológico se interrumpe?

¿Qué consecuencias traería a la vida en la Tierra?

Preguntas como estas, deben ser trabajadas por el profesor al propiciar el análisis, la comprensión, la valoración de situaciones y hechos. La sequía, la desertificación, la cohesión, compactación de los suelos son consecuencias, así como, la pérdida de resistencia que originan derrumbes, desplomes, asentamiento de las carreteras, vías férreas, puentes y mal funcionamiento de las alcantarillas.

Las investigaciones ingeniero geotécnicas del suelo lo caracterizan como no acto por la pérdida de sus propiedades según el tipo de obra a construir. Aparecen fenómenos como la Meteorización y erosión, fenómenos geodinámicos, el carsismo y deslizamientos de tierra. Las relaciones volumétricas y gravimétricas estarían afectadas. Las propiedades físicas como relación de vacíos, porosidad, contenido de agua, grado de saturación, densidad de sólidos y la compacidad relativa.

Las propiedades hidráulicas (El agua en el suelo, capilaridad, permeabilidad, contracción, expansión). Propiedades químicas (los elementos químicos en el suelo y la conductividad eléctrica). Propiedades dinámicas (amortiguamiento, licuefacción y movilidad cíclica). Estas potencialidades se interrelacionan con las causas y consecuencias para su análisis y valoración.

El profesor se apoyará para su preparación en los documentos: Estrategia ambiental de la construcción donde aparecen los principales impactos y como mitigarlos según sea la actividad. La regulación de la construcción RC 8002 referida a los requisitos para el uso sostenible de los suelos, la RC 8004 sobre indicaciones generales durante las investigaciones ingeniero-geológicas en el ciclo de vida de las obras civiles entre otros constituyen documentos que deben ser trabajados por el profesor y los estudiantes en la integración de contenidos.

EJEMPLO DE TRATAMIENTO DE LA TEMÁTICA AMBIENTAL

Problematizador: A una empresa de proyecto se le dio la tarea del diseño de nuevas vías en una zona urbana. De acuerdo a las características y condiciones del área, existen edificios con más de dos plantas, viviendas independientes, un círculo infantil y una secundaria. Según el trazado se prescriben especificaciones que relacionan posibles impactos ambientales que pueden afectar en la población, por la tipología de equipos y sus movimientos en la obra. Estos son: aumento del ruido, probabilidad de accidentes, afectación a la vegetación, exceso de polvo entre otros.

- a) ¿Qué acciones se deben estar realizando para dar solución a esta problemática?
- b) ¿Qué otros impactos consideran se pueden estar originando?
- c) ¿Qué consecuencias se pueden dar?
- d) ¿Qué criterios puede emitir?

Contextualizado: Se aprovechará al máximo las características físico-geográficas del sitio, tales como las pendientes, el drenaje natural, la vegetación, evitando, en lo posible, las modificaciones al entorno físico y minimizando las afectaciones a la vegetación existente, así como a la capa vegetal, en caso de que la misma exista.

¿En qué actividades o etapa de la construcción de obras civiles debes tener en cuenta la afirmación anterior? ¿Por qué?

Integrador: La ubicación de las facilidades temporales, así como los sitios de depósitos de residuales y escombros se realizará conforme a las normas ambientales, utilizando para ello un área mínima.

- ¿Cuáles son esas normas y qué otros aspectos debes considerar para su ubicación?
- Ejemplifique esta situación de acuerdo a alguna experiencia en su centro de trabajo y/o comunidad
- ¿Cómo desde tu posición de estudiante y ciudadano contribuye a la limpieza y cuidado del medio ambiental?

04 CONCLUSIONES

La preparación de profesores en una disciplina técnica de la carrera Licenciatura en Educación Construcción cobra una especial importancia en la actualidad. Plantear como dar tratamiento a la educación ambiental a través de una guía metodológica conduce a una educación de calidad. Constituye un proceder metodológico que lo asocia con la vida profesional y nuevas vías de trabajo que le permite la contextualización e integración de la educación ambiental a los contenidos de las asignaturas de la disciplina Proyecto, Construcción y Conservación de Obras Civil e identificar los principales problemas ambientales que deben ser trabajados por su incidencia en el medio ambiente.

05 REFERENCIAS

Álvarez de Zayas C.M. (1997). "Hacia un currículo integral y contextualizado", Editorial Academia, La Habana.

Arevalo J. (2017). "Las Guías Archivísticas", extraído de: <http://www.mundoarchivistico.com/?menu=articulos&id=301>

Cipagauta S. J. y Pachón V. (2017). "Definición de una guía metodológica para la implementación del programa de gestión documental en las pequeñas empresas de naturaleza privada, sustentada en la resolución 8934 de 2014, emitida por Superintendencia de Industria y Comercio", Tesis de maestría en Gestión Documental y Administración de Archivos, Universidad de La Salle, Valencia, España.

Conferencia Intergubernamental de Educación Ambiental (1977). "Informe final", organizada por la UNESCO con la cooperación del PNUMA Tbilisi, URSS).

Gaceta Oficial de la República de Cuba (2022). Ley 150 del sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, (SRNMA) Cap. IX Educación ambiental, art. 141.1, La Habana.

Meza G. (2015). "Propuesta de Formación continua sobre componente ambiental como eje curricular transversal para los docentes del programa de Obras Civiles del Centro de Educación Superior, Itfip Espinal- Tolima.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) (2016/2020). "Estrategia Ambiental Nacional (EAN)", Centro de Información Gestión y Educación Ambiental, La Habana.

Ministerio de la Construcción (MICONS) (1997). "Estrategia ambiental de la construcción", La Habana.

RC-8004. Regulaciones de la Construcción. "Protección del Medio Ambiente en la Construcción. Indicaciones generales durante las investigaciones Ingeniero – geológicas", Ministerio de la Construcción, La Habana.

RC-8002. Regulaciones de la Construcción. "Protección del Medio Ambiente en la Construcción. Requisitos para el uso sostenible de los suelos en la Construcción", Ministerio de la Construcción, La Habana.

Valdés O. y Livina M. (2021). Estrategia de educación para el desarrollo sostenible del Ministerio de Educación de la República de Cuba.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Susana Márquez Robert <https://orcid.org/0000-0001-6651-3544>

Realizó contribuciones en la elaboración de la guía metodológica. Participó en el diseño de la investigación, búsqueda de información, revisión y redacción del informe final.

Enrique Cecilio Cejas Yanes <https://orcid.org/0000-0002-1762-7243>

Trabajó en el procesamiento de la información haciendo contribuciones en su análisis y valoración. Participó en el análisis de los resultados y en la redacción final.

Laboratorio Virtual de mecánica de los fluidos basado en CFD.

Alcides Juan León Méndez

E-MAIL: aleonm@civil.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE.Cuba

Johan Chirino Montano

E-MAIL: johan@ecmmariel.cu

Dirección Técnica de Ingeniería, Empresa de Construcción y Montaje (ECM). Zona Especial de Desarrollo Mariel, Artemisa, Cuba.

RESUMEN

Este trabajo aborda el tema de la enseñanza en los laboratorios de una rama específica de la ingeniería, la Hidráulica, pero empleando la modelación numérica con salida visual, proponiéndose como una alternativa más, para la enseñanza. Para el desarrollo se ha empleado el comportamiento hidráulico en una reducción gradual de diámetros, mostrando las posibles salidas de los programas que simulan procesos de la Dinámica de los Fluidos Computacional (Computational Fluids Dynamics, CFD). Aunque son modelos de compleja construcción, si el profesor prepara los elementos constitutivos de la simulación, junto con una guía para su ejecución, los estudiantes llegan a soluciones numéricas y visuales que son imposibles de obtener en otro tipo de laboratorio.

PALABRAS CLAVES:

CFD, laboratorios docentes, laboratorios virtuales, mecánica de los fluidos

CFD-based Fluid Mechanics Laboratory

ABSTRACT

This work addresses the issue of teaching in laboratories of a specific branch of engineering, Hydraulics, but using numerical modeling with visual output, proposing itself as another alternative for teaching. For the development, hydraulic behavior has been used in a gradual reduction of diameters, showing the possible outputs of the programs that simulate Computational Fluids Dynamics (CFD) processes. Although they are models of complex construction, if the teacher prepares the constituent elements of the simulation, along with a guide for its execution, students reach numerical and visual solutions that are impossible to obtain in another type of laboratory.

KEYWORDS: CFD, teaching laboratories, virtual laboratories, fluid mechanics

01 INTRODUCCIÓN

La enseñanza en laboratorios especializados, se ha nutrido de los avances de la informatización de la sociedad. En la enseñanza, la virtualización de los procesos de laboratorio se ha introducido, pudiéndose contar hoy, con grandes avances en este campo empleando laboratorios virtuales (León y Fernández de Córdoba, 2021).

Los laboratorios virtuales nacieron en 1984 (Izquierdo, 2017). Son herramientas digitales de apoyo al docente, donde el estudiante adquiere destrezas y habilidades para alcanzar el perfeccionamiento profesional, relacionando la teoría con la práctica, teniendo la posibilidad de visualizar, analizar e interactuar en diferentes escenarios (Gómez y León, 2010).

No obstante, todavía hay muy poca información acerca de laboratorios docentes soportados sobre paquetes informáticos de la Mecánica de los Fluidos Computacional, o como comúnmente se le nombra en cualquier idioma, CFD. Uno de las primeras propuestas en Latinoamérica, fue el trabajo de tesis realizado por D. Izquierdo López (2017), dirigido por A. León Méndez. En el mismo se propuso una metodología, que incluye en conocimiento del programa que se empleó para la simulación y un primer paquete de cinco laboratorios para la asignatura universitaria Mecánica de los Fluidos.

La aplicación de simulaciones CFD en la Mecánica de los Fluidos pueden encontrarse, hoy, en otras universidades y sitios de internet. Quishpe Songor (2021) publica su tesis de grado dedicada a prácticas virtuales construidas en CFD. En su trabajo realiza un grupo de prácticas, tanto de hidrostática como de hidrodinámica de modelos con flujos libres y a presión, auxiliándose del programa Flow 3D, pero en ningún caso se describe el proceso que debe seguir el profesor y el nivel de actuación que se debe solicitar a los estudiantes para resolver cada laboratorio. En su trabajo, la primera práctica está dedicada a la enseñanza del Flow 3D, tema que no tiene relación con los contenidos de la asignatura Mecánica de los Fluidos, y, que en una sola sesión de prácticas es muy difícil de asimilar y ejercitar. En las siguientes páginas, se desarrollan varias prácticas, para un grupo determinado de datos, describiendo: objetivos de la práctica, método particular de construcción que se empleó, una síntesis de la teoría que aparece en los textos, la solución de un problema particular del tema de la práctica, el diseño de la hoja de resultados del problema resuelto y una similar, en blanco, para el uso de los estudiantes.

Por su parte Castillo (2021), publica videos describiendo varias prácticas virtuales de la especialidad. En cada uno de los videos lo que se realiza, durante la mayoría del tiempo de duración del experimento, es el proceso de construcción del modelo, quedando inconcluso la estrategia para su aplicación en cualquier actividad docente.

La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP, 2016) brinda a sus estudiantes y a otras instituciones académicas laboratorios virtuales construidos con CFD, pero en su página web, no presentan resultados académicos, ni ningún otro indicio de su construcción, aplicación y evaluación.

En este trabajo se aborda el tema de la simulación de prácticas docentes de laboratorio ejecutados en un ordenador, esta vez empleando la modelación numérica con salida visual. El empleo de las herramientas computacionales para la simulación de procesos, basadas en la técnica de CFD, ha ido cobrando fuerza desde finales del pasado siglo y no solo abarca el tema de la dinámica de los fluidos, sino que también incursionan en las tensiones estructurales, la termodinámica, la electricidad y cada vez más se expande a otras especialidades, Izquierdo (2017).

Aunque los ejemplos desarrollados aparecen construidos con el ANSYS[®] y el ANSYS Student 2022R2.2, estos laboratorios pueden desarrollarse con casi cualquier programa que simule CFD, como son el Flow3D, OpenFOAM y muchos otros.

El laboratorio, preparado previamente por el docente, desde su inicio, hasta la salidas gráficas y numéricas que el mismo requiera para su interpretación, se convierte en un elemento importante para transmitir conocimientos, que, de otra forma sería muy difíciles y a veces imposibles de transmitir a los estudiantes. La suma de resultados de los modelos CFD, donde se combinan salidas gráficas y numéricas hacen de esta herramienta un aliado insustituible para explicar la teoría y posteriormente ejercitar a los estudiantes en un laboratorio de cómputo, en sus casas o donde cada uno tenga preferencia de estudiar.

En resumen, este trabajo tiene como primer objetivo, mostrar, de forma general, los pasos necesarios en la confección de un modelo CFD. Como segundo objetivo, describir y ejemplificar cómo el docente emplear los resultados de un modelo CFD, en apoyo a la teoría. Y como tercer y último objetivo, describir y ejemplificar cómo diseñar y aplicar una práctica virtual, a estudiantes que no conocen previamente la modelación con CFD.

02 LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) surge entre las décadas de los años 50 y 60 del pasado siglo. A grandes rasgos el método consiste en, a partir de la geometría del modelo a simular, discretizarla en celdas, creando lo que se conoce por una malla espacial, quedando la geometría dividida en pequeños volúmenes de control. Después se resuelve en cada uno de ellos las ecuaciones de conservación discretizadas, que permite resolver una matriz algebraica en cada celda, de forma iterativa, hasta que el residuo del cálculo sea lo suficientemente pequeño para que los resultados del modelo sean tomados en cuenta como válidos.

La aplicación del CFD se extiende a la Ingeniería Hidráulica y Sanitaria, a las industrias Química, Aeroespacial, Naval y Nuclear.

En gráficos por computadora, los primeros intentos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes en 3D completo se dieron en 1996, por Foster, N. y Metaxas, D. (1996), del Center for Human Modeling and Simulation, basaron su trabajo, en un artículo clásico de CFD, publicado por Harlow, F.H. y Welch, J.E. (1965).

EL ANSYS Y EL ANSYS STUDENT.

ANSYS, Inc. Fue fundada por el ingeniero norteamericano John Swanson en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.), USF (2023).

ANSYS, Inc. es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos.

Para resolver el problema de los altos precios de los programas para CFD propietarios, los desarrolladores de software libre han incursionado con diversos programas dedicados a este campo. Dentro de las aplicaciones está el OpenFOAM que surge en el Imperial College of London, una institución con una fuerte tradición en investigación y ha sido centro investigador de técnicas relacionadas con el CFD desde el año 1960.

Por su parte ANSYS Student es un paquete de software de simulación introductorio, gratuito, basado en Workbench para estudiantes de ingeniería interesados en aprender simulación y análisis. Donde, Workbench es una herramienta visual de diseño de bases de datos, que integra desarrollo de software, administración de bases de datos, diseño de bases de datos, gestión y mantenimiento.

Su principal desventaja, respecto a la versión propietaria es la reducida cantidad de celdas y nodos, máximo 512 mil, lo cual implica que sus resultados no deben emplearse para una investigación y si para una actividad docente.

Tanto ANSYS como ANSYS Student están divididos en módulos: preprocesador (creación de geometría y mallado), configuración hidráulica (hidrostática o hidrodinámica) del modelo, procesador (solver) y posprocesador. El ANSYS tiene, además de varios programas para simular CFD (CFX, Fluent, Fluid Flow), programas especializados para ingeniería civil, mecánica y eléctrica, física, química y en otras ramas de las ciencias y la tecnología. Por esto, lo que se desarrolla a continuación puede ser aplicado a cualquiera de estas especialidades, tanto a nivel de la enseñanza tecnológica, como en la enseñanza universitaria de pregrado (licenciatura) y posgrado hasta nivel de doctorado.

Los resultados arrojados son aproximaciones que dependerán del modelo geométrico que se construya, el mallado que se emplee y el valor de algunas variables en el módulo de configuración de la hidráulica (hidrostática o hidrodinámica) del modelo, tal como el criterio de parada del procesador. Pero para emplearlo como herramienta en la docencia se puede obtener buenos resultados con modelos simplificados, que no serviría para investigaciones de rigor.

Esta característica, común a todos los programas que modelan CFD, aún los más sencillos para la simulación de fluidos, impone que, para lograr su aplicación como herramienta para el trabajo de la docencia en las actividades de la conferencia, seminarios, talleres y laboratorios, el profesor prepare previamente una buena parte del modelo que se empleará y lo ejecute con todas y cada una de las variantes que tendrá la práctica, para garantizar los resultados.

Si el objetivo es emplear las soluciones para una conferencia u otra actividad, en que el profesor sea el protagonista, hay que llegar hasta el posprocesamiento de los resultados y llevarlos ya preparados adecuadamente, a no ser que el equipo de cómputo que se emplee en la actividad sea muy poderoso y el modelo solo requiera algunos minutos para llegar a los resultados, cosa poco frecuente con estos modelos ya que llegar a las soluciones requiere de mucho tiempo de cómputo.

Si el objetivo es que el estudiante llegue a obtener sus propias soluciones, se preparará el modelo dejando una mínima cantidad de interacciones con el programa para lograr que, en todos los casos, las respuestas sean acordes con lo planificado anteriormente.

ESTRUCURA DE TRABAJO DEL ANSYS Y EL ANSYS STUDENT

Para ejemplificar todos los pasos, de ahora en adelante, se empleará ejemplos sencillos de la Mecánica de los Fluidos, en una conducción forzada. Todo lo que puede realizarse en la conducción forzada también puede realizarse en una conducción libre de sección transversal abierta o cerrada, prismática o no prismática. Los procesos a seguir, de forma muy general se describen a continuación agrupados en cuatro módulos.

MÓDULO 1. PREPROCESAMIENTO DEL MODELO

- Establecimiento de la geometría del problema, creando líneas, áreas o volúmenes. Sobre este modelo se establecerá la malla de elementos. Se definen los materiales a ser usados sobre la base de sus constantes. Todo elemento debe tener asignado un material particular.
La figura 1, muestra una tubería de L metros de largo y diámetro D , en dos vistas de la confección de la geometría.
- Generación de la malla, realizando una aproximación discreta del problema sobre la base de puntos o nodos. Estos nodos se conectan para formar elementos (celdas), que juntos forman el volumen del material. La malla puede generarse a mano o usando las herramientas de generación automática o controlada de mallas. Para la generación se realizan varios pasos: generación de la *malla global* y generación de la *malla local*. En el

primer paso, se genera la malla de todo el cuerpo, en el segundo paso se precisa, para este caso, el mallado de la capa límite. Si es necesario se realiza el *refinamiento de la malla* para precisar algún volumen del cuerpo en particular. Este refinamiento tiene varias opciones. La figura 2, muestra las etapas de mallado de la tubería anterior. En este caso no se hace refinamiento, ya que no hay ningún volumen que requiera precisar, aún más, la densidad del mallado.

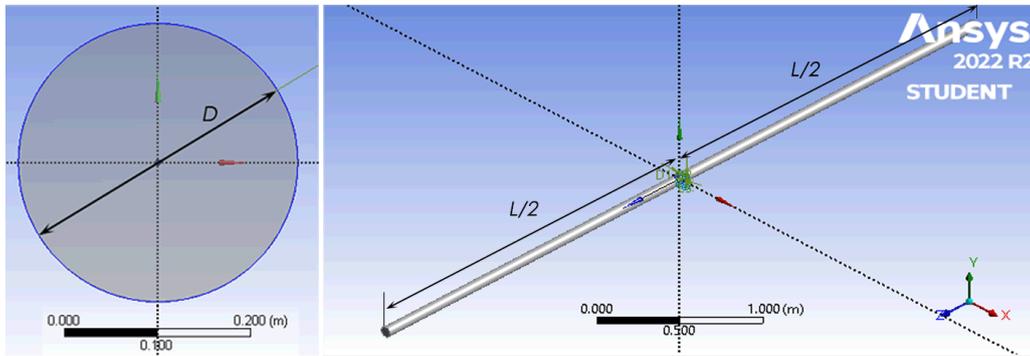


Figura 1. Visualización de la geometría en la generación de una tubería

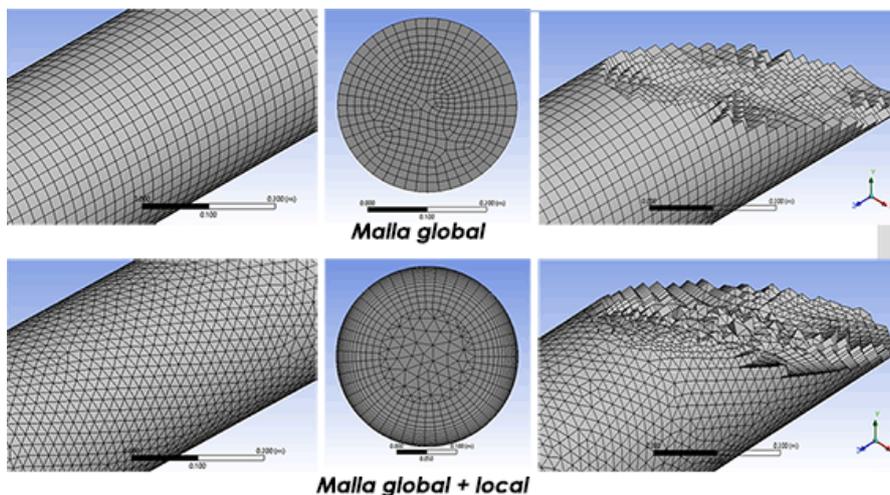


Figura 2. Visualización del mallado de la tubería

MÓDULO 2. CONFIGURACIÓN DE LAS VARIABLES (HIDROSTÁTICAS O HIDRODINÁMICAS) QUE INTERVIENEN EN EL MODELO

A este nivel se ha definido la geometría y el mallado de la misma para lograr el objetivo perseguido con la modelación (preprocesamiento). Por tanto, a continuación, se definen las características y valores de las variables que intervienen en el modelo (tipo de fluido, temperatura, presión de referencia, modelo de turbulencia, etc.). También se selecciona, entre otros, la cara de entrada y salida del flujo, la superficie que encierra el paso del flujo, la rugosidad interna del conducto, el número mínimo y máximo de iteraciones para la búsqueda de la solución (primer criterio de parada), el tipo y valor del error residual admisible para llegar a la solución (segundo criterio de parada), entre otros muchos datos que permiten precisar bien las características del modelo, del fluido y de la ejecución de la solución.

MÓDULO 3. PROCESAMIENTO DEL MODELO

Una vez que todos los valores del problema son ya conocidos, se ejecuta el modelo construido y configurado. El número máximo de iteraciones seleccionadas, en el módulo anterior, se ejecutan

antes de detener la ejecución, o el programa detiene el procesamiento, una vez que todas las variables que intervienen alcancen el error seleccionado como criterio de parada.

MÓDULO 4. POSPROCESAMIENTO DEL MODELO: RESULTADOS GRÁFICOS Y NUMÉRICOS

Una vez concluida la ejecución exitosa del programa se pasa a la visualización de resultados, por ejemplo, visualizar contornos de velocidad, presión, energía cinética turbulenta, líneas de corriente, y otras muchas más opciones. La figura 3 muestra algunas de estas soluciones.

Se puede igualmente, hacer un listado de resultados, como datos en una tabla o individualmente. Se pueden ubicar puntos o secciones transversales para que en estas ubicaciones se puedan medir los valores de las variables que intervienen en el proceso (velocidad, presión, temperatura, etc.) o cualquier otra información sobre el flujo.

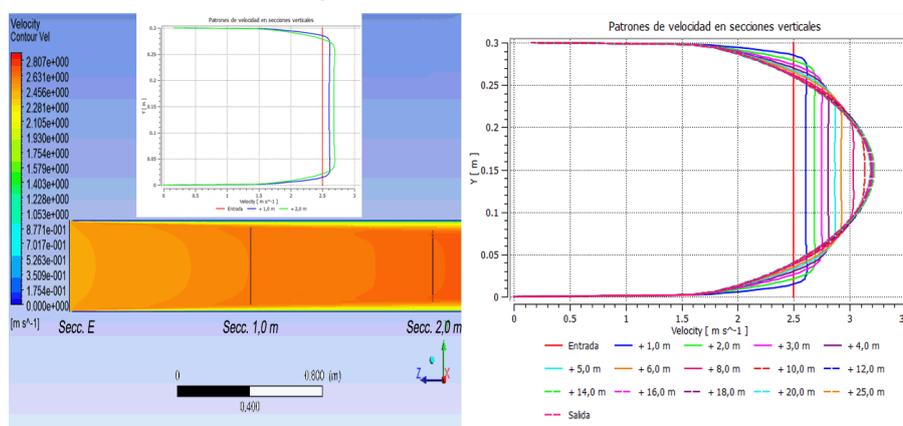


Figura 3. Algunos ejemplos de los resultados que se obtienen con un programa CFD

Con el ejemplo anterior se da una idea inicial, sobre lo que puede aportar un modelo CFD aplicado a la docencia, tanto directamente en el aula como apoyo insustituible para la docencia, como en trabajos extracurriculares y en tesis de culminación de estudios.

A continuación, se desarrollarán las ideas básicas del empleo de la modelación CFD como herramienta docente para crear laboratorios virtuales.

03 CREACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA USO DEL PROFESOR

Un modelo CFD no es de fácil construcción, aunque una vez construido, su ejecución e interpretación de los resultados es más simple y puede estar al alcance de los estudiantes de carreras tecnológicas o universitarias, tanto en la etapa de formación inicial, como en posgrados, maestrías y doctorados.

El objetivo de un laboratorio virtual construido en CFD (LabVirCFD), para cualquier nivel de enseñanza, es que el estudiante adquiera nuevos conocimientos sobre la materia estudiada, profundice en la misma al poder analizar en problema estudiado con una herramienta computacional que le permita medir y visualizar todas las variables que intervienen en el proceso.

Se dividirá el proceso de creación en dos, el primero para construir las simulaciones que el profesor necesita para su trabajo en el salón de conferencias o para motivar un debate en un seminario. El segundo y más importante, la creación de LabVirCFD para que los estudiantes, lo tengan instalados en sus ordenadores o se conecten a la página web de su universidad y de esta forma puedan emplearlo en un aula especializada, en sus hogares, en bibliotecas o en cualquier otro sitio de su preferencia.

En esta fase de la implementación de las simulaciones CFD, el profesor debe conocer a profundidad la materia impartida y tener, al menos, un conocimiento básico del paquete informático que se empleará para la construcción del laboratorio. Esto es fundamental, para que pueda extraer, de la simulación que se realice del proceso, toda la información visual y cuantitativa que le permita profundizar en el tema que va a desarrollar y le permita motivar adecuadamente al estudiantado sobre el proceso y el programa que se ha utilizado para la exposición.

Es muy importante enfatizar, dada la experiencia de más de 20 años aplicando el MultiHVirtual que el conocimiento profundo de la materia a impartir es el elemento de más peso en la construcción de las simulaciones en CFD (Gómez y León, 2010), (León y Fernández de Córdoba, 2021).

En el proceso de construcción se debe:

- Lograr la mejor exactitud, tanto en los resultados visuales como en los numéricos;
- Emplear, preferiblemente, el propio programa para reproducir los resultados;
- Preparar previamente las salidas en gráficas (*Charts*), planos de contornos colorimétricos de las variables (*Contour*), planos con líneas de corriente y movimiento de partículas (*Streamline* y *Particle Track*), planos con vectores (*Vector*), etc.

Como ya se ha dejado escrito en párrafos anteriores el modelo de simulación del proceso se emplea por el docente de la materia para:

- complementar la explicación de contenidos;
- motivar nuevos contenidos;
- introducir un nuevo tema;
- motivar o complementar, o ambos a la vez, un fórum, debate o seminario.

Un muy resumido ejemplo, de todo lo que puede hacerse en ese sentido, es el siguiente. Si se supone que, en la enseñanza del flujo en tuberías, el docente desea profundizar en la capa límite en el flujo turbulento y al desarrollar la teoría se auxilia de una gráfica con el patrón de distribución de velocidades en la tubería, un plano longitudinal conteniendo el contorno de velocidades y de otras gráficas más cercanas a la pared interna de la tubería para ejemplificar cómo se comporta la distribución de velocidades. La figura 4 presenta algunas de estas imágenes para enriquecer la explicación.

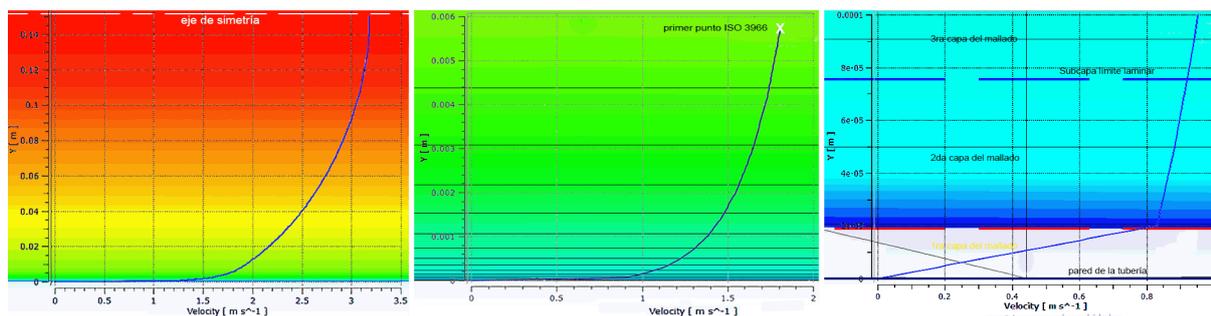


Figura 4. Algunas de las imágenes que pueden extraerse del modelo CFD

Tal como se muestra en la figura 4, el profesor ha preparado tres imágenes superponiendo las imágenes de los contornos de velocidad con la gráfica del patrón de velocidades, correspondiente a cada uno de ellos. De esta forma la explicación del comportamiento del patrón de velocidades en una sección circular queda expuesto claramente. La figura a la izquierda muestra el comportamiento de la mitad del patrón, mientras que, las dos restantes muestran acercamientos a la frontera que delimita la pared interior de la tubería, llegando a un acercamiento de una décima de milímetro de

la pared con lo cual se puede explicar muy claramente el comportamiento del patrón, por debajo de la subcapa límite laminar que se forma cerca de la pared, así como la imposibilidad de mediciones de la herramienta informática empleada, por debajo de la posición de la primera capa del mallado.

De igual forma, el profesor podría haber tomado la muestra cuantitativa de los patrones y compararla con la distribución logarítmica de la velocidad, la distribución potencial, u otra de las que aparecen en la literatura especializada. E incluso repetirlo, para diferentes caudales de circulación, que produzcan muy diferentes Números de Reynold.

04 CREACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Primeramente, debe dejarse claramente expuesto que un laboratorio virtual construido con las técnicas de CFD para una asignatura de la especialidad de una carrera, no tiene como objetivo, enseñar al estudiante a simular procesos con esa tecnología.

El objetivo de este poderoso auxiliar de la enseñanza debe ser, que cada usuario, con un mínimo de conocimientos, guiados por el manual de operación de cada práctica, pueda cambiar algún parámetro y ejecutar la simulación, para obtener los resultados que brinda el módulo de posprocesamiento y a partir de ahí elaborar el informe de la práctica.

Una de las grandes aplicaciones usando los programas que simulan fluidos, es su empleo en laboratorios especializados en una determinada materia. Aunque se tengan instalaciones de laboratorios reales y paquetes de programas de laboratorios virtuales especializados, como es el caso de la Universidad Tecnológica de La Habana, que cuenta desde hace más de 85 años con instalaciones de laboratorios reales y desde hace más de 18 años con una instalación multipráctica propia: el MultiH.Virtual[®] (Gómez y León, 2010); el empleo de simulaciones CFD, de los procesos que se estudian, a nivel de pregrado y posgrado, constituye una fortaleza invaluable, ya que el estudiante puede ejercitar los contenidos con una muy rica salida visual complementada por una salida numérica, que permite visualizar con detalles el comportamiento de un proceso en sus múltiples alternativas de presentación.

Esta herramienta, al igual que el MultH.Virtual, puede ser empleada en la educación presencial y no presencial, en tiempo real o no y en cualquier ambiente donde se encuentre el estudiante. Además, tiene la potencialidad de resultar muy económica al emplear la versión académica (ANSYS Student). Además, requiere menos mano de obra especializada para su desarrollo si se compara con lo que necesita para su construcción, un laboratorio virtual.

Para el desarrollo de un LabVirCFD y su aplicación para una práctica de laboratorio se debe contar con: docentes con experiencia teórica y práctica en la materia que abordará el laboratorio, personal entrenado en la construcción de modelos de simulación CFD, asesoría pedagógica para orientar bien los objetivos de cada práctica, sus contenidos y sobre todo para confeccionar encuestas para los estudiantes y poder recoger información sobre la asimilación de los contenidos y la satisfacción en cada práctica.

Dos importantes detalles de lo escrito en el párrafo anterior son, primero, es ideal si los propios profesores tienen las habilidades necesarias para llevar a cabo la construcción de cada práctica. Segundo, las encuestas tienen, también, la finalidad de retroalimentar a los docentes en qué hacer para mejorar las simulaciones de cada práctica.

En la primera asignatura donde se va a aplicar prácticas virtuales modeladas en CFD se debe incorporar una primera actividad, dedicada a explicar las características y composición del programa

que se empleará para la construcción de las simulaciones. Esta explicación debe ir acompañada de abundantes imágenes para la mejor comprensión de los contenidos y, de ser posible, una simulación, en tiempo real, de un proceso simple o medianamente complejo.

A partir de la primera actividad introductoria, descrita anteriormente, se programarán, desarrollarán y evaluarán cada una de las prácticas de esta primera asignatura.

En las siguientes asignaturas del curso, que se impartan en períodos o años posteriores, se incluirá una primera actividad introductoria, pero a un nivel superior del conocimiento, tal que, en paralelo con el desarrollo de las prácticas virtuales simuladas en CFD, los estudiantes adquieran conocimientos, cada vez más profundos, de la herramienta informática que se está empleando.

El objetivo de cada una de estas prácticas, debe estar dirigido a que los estudiantes puedan analizar, en corto tiempo y con mucha cantidad de información de salida, variantes de un proceso. Por tanto, para cumplirlo el profesor a cargo de la materia, debe profundizar mucho en el contenido de cada actividad y ejecutarla con cada una de las alternativas que propondrá para estar seguro que cumplirán su cometido, que es el que los estudiantes profundicen en cada uno de los procesos que modelarán, empleando una herramienta informática rica en salidas visuales y numéricas.

Al construir cada práctica se deben de garantizar los siguientes requerimientos:

- El modelo de simulación debe estar preparado, de forma tal, que el estudiante solo tenga que cambiar uno o dos parámetros del módulo dedicado a la configuración de las variables (módulo 2) y ejecutar el procesador (módulo 3), cambiando en él, solo el parámetro dedicado a configurar el número de núcleos del microprocesador que intervendrán en el cálculo y que dependen de la PC empleada. Esto presupone que estén ya configurados, el módulo dedicado al preproceso del modelo (módulo 1), una buena parte de los parámetros hidráulicos y variables que intervienen en el módulo 2 y las salidas requeridas para el análisis de los resultados (módulo 4).
- Cada práctica, incluso la introductoria, debe ir acompañada de un manual de procedimiento, rico en imágenes y descripciones de los pasos a dar. El manual puede comenzarse, opcionalmente, con un resumen de la teoría correspondiente al contenido de la práctica.
- La ejecución del proceso de cálculo, de cada una de las prácticas, no debe demorar más de 15 minutos, para evitar que los estudiantes tengan que consumir mucho tiempo en el mismo. Esto requiere que en el diseño geométrico y en el mallado, se exploten todas las posibilidades de minimización de longitudes y dimensiones de las secciones transversales de los conductos, empleo de la simetría, mallas mínimamente densas y refinadas que garanticen la calidad mínima necesaria de los resultados. Si se emplea el ANSYS Student, este admite un máximo de 512 mil nodos y 512 mil elementos.
- El diseño previo de las salidas (vectores, líneas de corriente, contornos, gráficas, ubicación de puntos para la medición de variables, tablas de resultados) debe configurarse para que no recarguen los resultados y el estudiante, pueda llegar a las conclusiones que se pretende en un relativo corto tiempo.
- El profesor o sus auxiliares, deben ejecutar previamente todas las variantes que se diseñen para cada práctica, para así tener seguridad de cada uno de los resultados.
- El resultado final de cada práctica debe garantizar: el cumplimiento de los objetivos trazados con alta calidad, el entrenamiento de los estudiantes en simulaciones con CFD y la comprensión de los mismos en lo importante de la herramienta informática en su vida profesional.

UN LABORATORIO PARA LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS.

La Mecánica de los Fluidos es una asignatura que abarca un amplio campo de contenidos. Entre ellos la hidrostática, la hidrodinámica de conductos forzados y libres, la aerodinámica de obras estructurales, buques, aviones y autos y la hidrodinámica de bombas y turbinas; dentro de ella se estudian los fluidos compresibles y no compresibles, newtonianos o no newtonianos y para cada uno de ellos la modelación con CFD tiene aplicaciones. Además, en la especialidad de Hidráulica, asignaturas dedicadas a las plantas y proceso para la potabilización de agua, plantas y proceso para el tratamiento de residuales, obras hidráulicas y otras más, pueden construir sus prácticas de laboratorio con las herramientas que brinda el CFD.

Para ejemplificar lo que puede hacerse en una actividad práctica, se presenta un ejemplo para conducciones forzadas con fluido no compresible y newtoniano: el agua. En el ejemplo se expone, en síntesis, debido al número de páginas permitida en la publicación, pero recoge los aspectos esenciales para transmitir la idea de lo que puede realizarse en esta dirección.

PRÁCTICA: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN ACCESORIO PARA LA REDUCCIÓN DE DIÁMETROS EN TUBERÍAS

Para esta práctica se empleará una tubería de sección circular, horizontal, con un patrón de velocidades a la entrada uniforme (rectangular). Se empleará dos tuberías en serie con diferentes diámetros y un reducido entre ellos. El profesor a cargo, tiene la opción de múltiples variables para lograr que todos los estudiantes tengan un problema diferente que resolver: estas pueden ser: los diámetros de las tuberías, el ángulo del reducido, incluyendo una reducción brusca; los caudales o velocidades a transitar, preferiblemente deben darse como valores del Número de Reynolds (NR) para los flujos a ensayar, ya que esto hace que los estudiantes tengan que calcular el caudal másico, o la velocidad, que es el parámetro de entrada al programa.

A continuación, una breve descripción de lo que debe aparecer en la tarea técnica de una práctica. Por el necesario ajuste a las páginas autorizada por la revista, solo se describirán los contenidos que debe el profesor incluir en cada acápite.

Objetivos

En el manual que guía la actuación en la práctica, el o los objetivos de la misma debe ser lo primero que aparezca después del nombre. Para esta práctica una opción de objetivos aparece a continuación.

Que el estudiante sea capaz de:

- Configurar las variables que intervienen en la simulación, que completan los datos de entrada prefijados con anterioridad, así como ser capaz de obtener y procesar los resultados de cada ejecución del programa.
- Concluir sobre el comportamiento de las pérdidas de carga (hf) en el reducido, o de los reducidos, a partir del análisis de la gráfica de hf , de las líneas de corriente, de la proyección de vectores y los contornos de velocidad, presión, energía cinética turbulenta y disipación de la energía en los remolinos viscosos, que tiene el modelo de simulación de la práctica como salidas preconstruidas.
- Calcular la K del reducido, o de los reducidos, a partir de ser capaz de ubicar los puntos de medición y medir, con la probeta de muestreo, la diferencia de presión aguas arriba y aguas abajo del accesorio.

- Comparar y concluir sobre los valores de pérdidas obtenidas con la modelación del reducido mediante CFD, con los valores que da el cálculo con tres ecuaciones empíricas de autores reconocidos.

Síntesis de la teoría y ecuaciones

Debe aparecer, a continuación, una breve síntesis de la teoría y ecuaciones que sostienen el cálculo hidráulico de un reducido. Este tópico no debe ser muy extenso, para propiciar que los estudiantes tengan que ir a la literatura disponible, impresa o digital, para profundizar en los contenidos.

Geometría, mallado y configuración de parámetros hidráulicos

A este nivel, debe aparecer una descripción e imágenes de la geometría del modelo, sus dimensiones, las características más relevantes del mallado realizado. El estudiante no tendrá que cambiar absolutamente nada de estos dos procesos, solo conocerlos.

También se incluye, detalladamente, los valores de los parámetros hidráulicos inicialmente configurados para el modelo, explicándose, con lujo de detalles e imágenes, los parámetros que ellos deben cambiar según los requisitos de la tarea técnica de la práctica. Es muy recomendable, que el estudiante no tenga que cambiar más de dos parámetros en esta configuración.

Ejecución del modelo y configuración de las salidas

Aquí debe aparecer una breve descripción del módulo solución, que es el encargado de ejecutar el proceso de cálculo. Por ser muy simple de ejecutar debe aparecer una descripción básica del mismo y una orientación clara de cómo ejecutarlo, pausarlo de ser necesario y continuar la corrida.

Aparece también, la descripción, con acompañamiento de imágenes, de las salidas pre configuradas, que se presentarán al estudiante cuando él acceda a este módulo, una vez completada la ejecución del modelo.

Es muy importante a este nivel, que se explique detalladamente, de ser necesario para la práctica, el proceso de ubicación de los puntos de medición y la forma de obtener el valor de la variable que se requiere.

Variables a modificar por el ejecutante de la práctica

En este paso, la tarea técnica o manual de la práctica, debe recoger claramente las variables que cada estudiante debe introducir en el modelo para obtener las simulaciones necesarias con el programa que le permitan redactar su informe final.

Resultados de las simulaciones

Por último, el documento normativo, que se entregue para orientar a los estudiantes en el desarrollo de la práctica, debe comenzar con la información básica del modelo a ejecutar y mostrar detalladamente las tablas donde se expondrán los resultados, una vez concluidas las simulaciones necesarias. Al final debe quedar explícitamente formulado el espacio para redactar las conclusiones de la práctica.

A continuación, detalles e imágenes de una alternativa de esta práctica, con las salidas que proporciona el programa, como ejemplo de la riqueza de información que pueden y deben recibir los estudiantes empleando esta herramienta informática.

Las imágenes mostradas a continuación pertenecen a un juego de datos para un estudiante. El diseño de las longitudes y diámetros de las tuberías, así como la densidad del mallado han sido calculados para garantizar que esta variante pueda ser ejecutada en el ANSYS Student, ya que la suma

de nodos y elementos solo alcanza la cantidad de $1,08E+05$ nodos y $3,26E+05$ elementos. Si el centro de estudio, donde se aplica este laboratorio, tiene la licencia del programa que permita más cantidad de nodos/elementos, entonces el refinamiento del mallado puede ser mucho mejor para que se obtengan mejores resultados en las variables de salida.

En la figura 5, aparece el cuerpo que se va a ensayar. Consiste en dos tramos de tubería de diferentes diámetros, en este caso 200 y 100 mm, unidos por un accesorio, que en este caso es un reducido de diámetros. El ángulo del reducido es variable y así el profesor puede indicar diferentes alternativas para cada estudiante. Si además se preparan previamente varios modelos con combinaciones de diámetro diferentes y para cada modelo se le asignan varios valores de NR y temperatura del agua para que definan las velocidades correspondientes a cada uno. Por tanto, se tendrán cuatro variables para las diferentes combinatorias: diámetro de los tramos, ángulos del reducido y valores de NR y temperatura. Aparece además en la propia figura 5 el detalle del mallado empleado para no superar el límite nodos/elementos de la versión del Student.

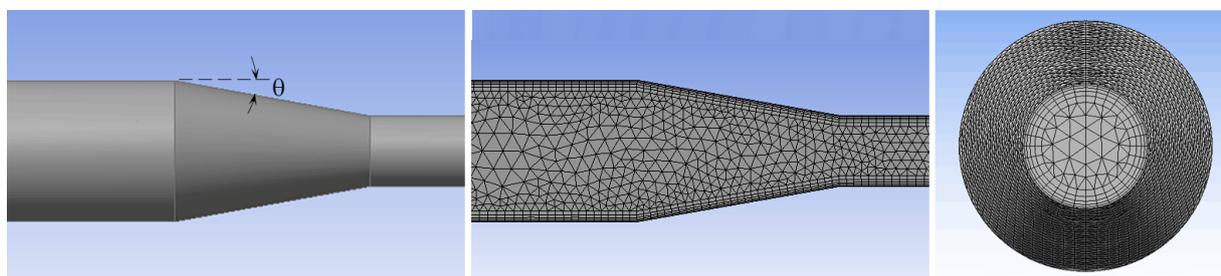


Figura 5. Detalles de la geometría del modelo y el mallado

Las siguientes figuras muestran detalles del posprocesamiento del modelo para la velocidad de 3,00 m/s, pero en la tarea técnica de la práctica a realizar por cada estudiante es aconsejable incluir, al menos, tres velocidades diferentes. Para esta presentación solo se hicieron variaciones para ángulos de 20° (reducción larga) y 90° , correspondiente a una reducción brusca de diámetros. El NR, asociado al diámetro mayor, fue de: $6,72E+05$ que para una temperatura del agua de 25°C corresponde a una velocidad de 3,00 m/s.

El tiempo de la ejecución de cada simulación, en una PC con tarjeta madre de 9na generación un Core i5 y 8Gb de RAM, fluctuó entre 2 minutos con 44 segundos y 4 minutos y 18 segundos, tiempos relativamente bajos que permiten que el estudiante pueda hacer un grupo importante de simulaciones en el lapso de una hora o menos. En todos los casos el criterio de parada fue $1E-06$ (segundo criterio descrito al inicio del trabajo) para el error medio cuadrático (RMS) de las variables que intervienen.

Como ejemplo de salida del posprocesamiento, la figura 6 superior, muestra los contornos, en el tramo que contiene el reducido estudiado, de la velocidad y superpuesto los vectores velocidad a la salida del reducido, dejando para el dúo de imágenes inferior los contornos de presión. Por simple inspección puede observarse la contracción del chorro a la salida del reducido brusco lo cual se refleja claramente en los contornos de velocidad en los vectores velocidad a la salida y en los contornos de presión, que indican una mayor caída de la presión en el reducido brusco. Esta caída quedará más convincentemente reflejada, en la rasante piezométrica que se muestra en la figura 7.

Sin querer minimizar las muchas conclusiones que pueden resultar del análisis de las imágenes de la velocidad y presión, son incuestionables las diferencias entre una reducción brusca y una gradual. Esto le permite al estudiante, visualizando las imágenes, obtener conclusiones muy importantes sobre la reducción de diámetros en una tubería a presión y a la vez le permitirá recordar, en un futuro,

las características del proceso al recordar las imágenes. Esta información gráfica y también cuantitativa, no puede obtenerse en una práctica de laboratorio tradicional o en un laboratorio virtual que simule la instalación real.

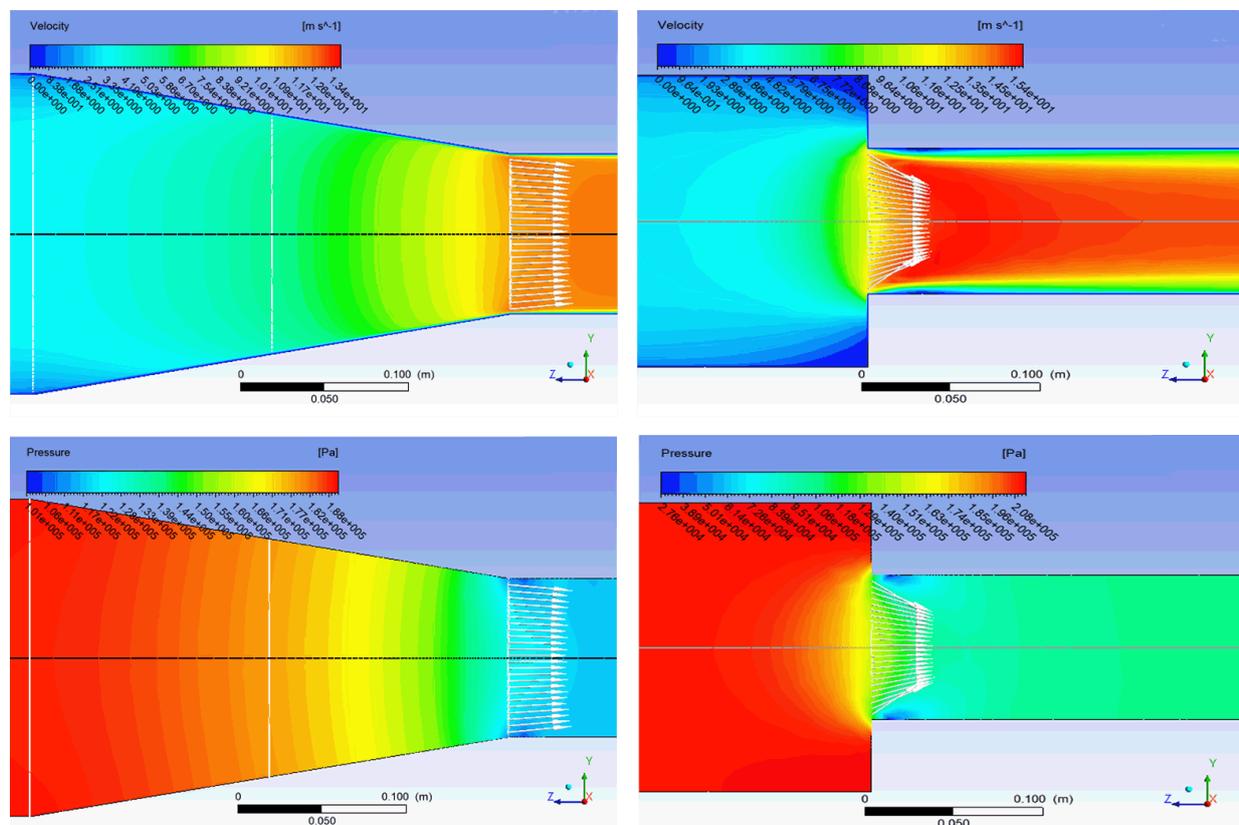


Figura 6. Resultados de los cambios de velocidad (superior) y presión (inferior) para dos variantes de reducido: gradual con 20° (izquierda) y brusco (derecha)

En el tramo que contiene el reducido estudiado, las gráficas de la rasante piezométrica aparecen en la figura 7. Para estas imágenes se presenta un acercamiento a la zona del reducido para resaltar la fuerte caída de la presión al pasar por el accesorio. Estos valores quedan registrados, opcionalmente, en un fichero para que puedan ser reelaborado por otro programa y de esta forma los estudiantes pueden presentar una única gráfica mostrando varias rasantes piezométricas para diferentes caudales, o para diferentes ángulos de la reducción. De igual forma en el informe final se les puede solicitar que relacionen el comportamiento de la rasante piezométrica con las imágenes de la distribución de la presión en el accesorio y otros muchos análisis más que son prácticamente imposible de obtener en una práctica de laboratorio real o una clásica virtual.

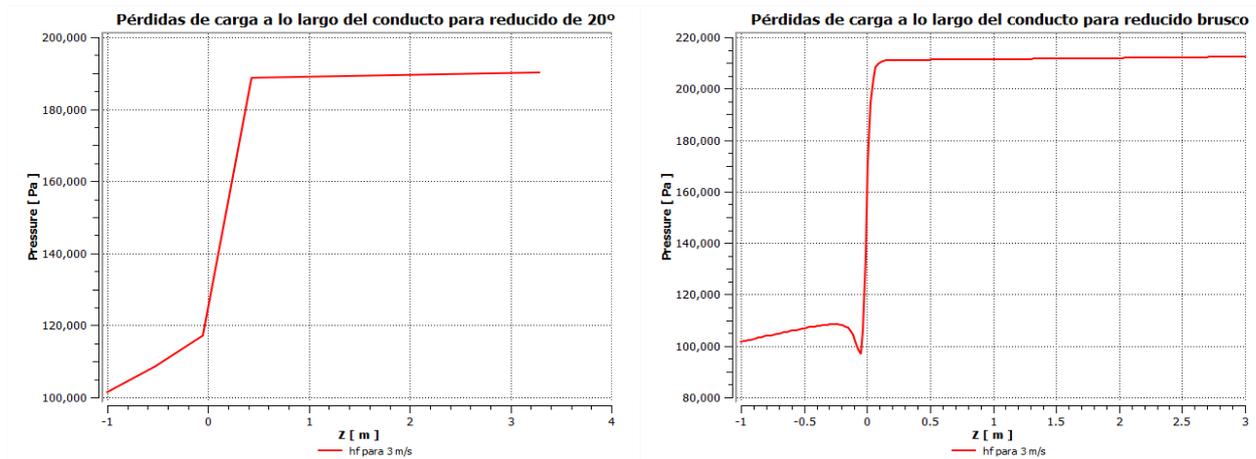


Figura 7. Resultados de las pérdidas de carga en el reducido.

05 CONCLUSIONES

Es una realidad para muchas especialidades que el empleo de programas de simulación con salida visual y numérica constituyen una herramienta importante para la formación de los estudiantes universitarios, a varios niveles y estudiantes de la enseñanza técnica profesional.

En particular, el empleo de las simulaciones con CFD, empelando uno u otro programa, se convierte en una herramienta vital para el docente en el momento de la impartición de conferencias, de dirigir seminarios o de preparar y dirigir prácticas de laboratorio. Otra gran aplicación para el docente es en el momento de escribir un texto o simplemente, un material dirigido a la explicación de un proceso.

Queda explícitamente demostrado las grandes posibilidades de esta herramienta informática, con sus múltiples salidas visuales y numéricas. Además, su empleo puede complementar un laboratorio real o un clásico virtual existente, o sustituirlos en caso de que las condiciones materiales no permitan su empleo.

RECONOCIMIENTO

Debe reconocerse a la entonces estudiante, hoy ingeniera, Daily López Izquierdo por su entrega y aportes a la tarea encomendada en el año 2017, de crear un grupo de prácticas virtuales con CFD y proponer una primera metodología de construcción y aplicación.

06 REFERENCIAS

- Anderson J. D.** (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications*. Science/Engineering/Math. McGraw-Hill Science. USA. ISBN 0-07-001685-2.
- Castillo E.** (2021). "Laboratorio Virtual CFD". Video educativo. Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil, Ecuador. Consultado en septiembre del 2023 en: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=laboratorios+virtuales+en+CFD>
- Foster N. and Metaxas D.** (1996). "Realistic Animation of Liquids". Center of Human Modelling and Simulation. University of Pensilvania, Philadelphia, PA 19104. Consultado en junio del 2023 en: <https://www.ljll.math.upmc.fr/~frey/papers/applications/Foster%20N.,%20Realistic%20animation%20of%20liquids.pdf>
- Gómez M. y León A.** (2010). "Un modelo e instalación virtual para prácticas de laboratorio. Evaluación virtual de una bomba como caso de estudio". Memorias del 7mo. Congreso Universidad 2010, Ministerio de Educación Superior, ISBN 978-959-16-1558-9. La Habana, Cuba.

Extraído en mayo 2017 de: <http://biblioteca.uniss.edu.cu/sites/default/files/CD/universidad%202016%20web/pdf/Memorias.pdf>.

Harlow F.H. and Welch J.E. (1965). "Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluid with a Free Surface". American Institute of Physics, Journal Physics of Fluids, Vol. 8, 2182-2189. USA. ISSN 1089-7666 (web) Consultado en mayo 2023 en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1761178>.

Izquierdo D. (2017). "Propuesta del nuevo laboratorio virtual para conducciones forzadas con CFD en ANSYS". Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Hidráulico, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría CUJAE, La Habana, Cuba.

León A. J. y Fernández de Córdoba J. (2021). "La conferencia universitaria apoyada con un laboratorio virtual". Ing. Hidráulica y Ambiental, VOL. XLII, No. 4, oct-dic 2021, ISSN 2788-6050, RNPS 2066.Cuba

PUCP (2016). "Videos PUCP, Mecánica de los Fluidos Laboratorio Virtual". Servicio ofrecido por la Dirección de Tecnologías de Información (DTI), Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú. Consultado en septiembre del 2023 en: <https://videos.pucp.edu.pe/videos/ver/2fc4fdcfbe0692aa9678c862e6e00aac>

Quishpe D.J. (2021). "Manual de prácticas virtuales de laboratorio, aplicando modelación numérica (CFD) para uso en las asignaturas de mecánica de fluidos e hidráulica aplicada". Tesis en opción al grado de Ingeniero Civil, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Sede de Quito, Ecuador. Consultado en agosto 2023 en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20753>

USF (2023). "John A. Swanson Biography". Institute for Advanced Discovery & Innovation, University of South Florida, USA. Consultado en agosto 2023 en: <https://www.usf.edu/pcgs/documents/john-swanson-bio.pdf>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Alcides J. León Méndez

<https://orcid.org/0000-0002-5072-6438>

Realizó contribuciones en el diseño de la investigación, desarrollo de la investigación, redacción del documento y análisis y discusión de los resultados.

Johan Chirino Montano

<https://orcid.org/0009-0001-3749-5938>

Aportó trabajo en la ejecución de las simulaciones y construcción de los modelos, redacción del documento y análisis y discusión de los resultados.

Determinación del tiempo de llenado y/o vaciado de depósitos en sistemas fuentes por bombeo

Yaset Martínez Valdés

E-MAIL: yaset@civil.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae.

David Ernesto Marón Domínguez

E-MAIL: dmaron@ceamat.cujae.edu.cu

Centro de Estudios de Matemáticas (CEMAT), Instituto de Ciencias Básicas (ICB), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae.

RESUMEN

En el presente trabajo se propone una metodología de cálculo para determinar los tiempos de llenado y/o vaciado de los depósitos en los sistemas fuente por bombeo. La misma, se centra en la resolución de un modelo de cálculo discreto que tiene en cuenta las principales variables hidráulicas que caracterizan tres esquemas o casos de diseño y operación en dichos sistemas. Se presentan dos modelos de cálculo de enfoque discreto en función de la altura y el tiempo, los cuales se implementan en el sistema de cómputo numérico MATLAB versión R2013b para la comparación de diferentes variantes de los esquemas de diseño descritos. Ambos procedimientos analíticos se emplean en la resolución de un ejemplo práctico donde se ilustran los tres casos de operación para distintas variantes y alternativas de cálculo.

PALABRAS CLAVES:

tiempo, llenado, vaciado, depósitos, bombeo.

Determination of the filling and / or emptying time of tanks in pumped source systems

ABSTRACT

In the present work, a calculation methodology is proposed to determine the filling and / or emptying times of the tanks in the pumping source systems. It focuses on solving a discrete calculation model that takes into account the main hydraulic variables that characterize three schemes or cases of design and operation in these systems. Two discrete approach calculation models are presented as a function of height and time, which are implemented in the MATLAB version R2013b numerical computing system for the comparison of different variants of the design schemes described. Both analytical procedures are used to solve a practical example where the three cases of operation are illustrated for different variants and calculation alternatives.

KEYWORDS: time, filling, emptying, tanks, pumping.

01 INTRODUCCIÓN

Un sistema de abastecimiento de agua es un sistema dinámico cuyas variables cambian constantemente: consumos, nivel de los depósitos, estaciones de bombeo que arrancan y paran, etc. Cuando la variación de los principales parámetros (presión, caudal, niveles en los depósitos, etc.) sea pequeña o se produzca muy lentamente, un análisis en régimen permanente resulta adecuado. Esta representación temporal es una analogía de “n” instantáneas del sistema. La escala de tiempo en la que se producen estas variaciones es imprescindible para escoger el tipo de modelo de estudio: régimen variable o transitorio (Cabrera 1996).

En el caso del estudio de la evolución de los niveles en un depósito u optimizar el régimen de bombeo a lo largo de un periodo de tiempo, será necesario utilizar modelos de simulación dinámica. Este tipo de modelo es válido solo cuando las variaciones de las variables hidráulicas en el tiempo no son bruscas. Este modelo se basa en el análisis de sucesivos estados estacionarios correspondientes a intervalos de tiempo determinados. En la transición de un intervalo a otro, varían los consumos, el estado de los elementos de regulación, el nivel de los depósitos, etc., aunque durante el intervalo se suponen constantes. Siempre que se garanticen el cumplimiento de estas condiciones, los modelos de simulación dinámica proporcionan la representación más precisa y sencilla del funcionamiento de los sistemas de distribución, pues formalmente se plasma un sistema de ecuaciones algebraicas que caracterizan el sistema (Hernández, Gómez y Zanzi 2016a).

El objetivo del análisis en régimen permanente de un sistema de distribución de agua consiste en obtener los caudales circulantes por las conducciones, la carga a presión y los niveles en los depósitos, mediante la resolución de un sistema de ecuaciones de equilibrio (ecuación de conservación de la masa, o de Continuidad y ecuación de conservación de la energía) que caracteriza al sistema de abastecimiento a partir de conocer la carga piezométrica o carga de presión de un nudo al menos, las características hidráulicas de las conducciones (diámetros, rugosidades y longitud) y las características relevantes del resto de los elementos del sistema (válvulas, accesorios, bombas, etc.) (Hernández, Gómez y Zanzi 2016b).

Los sistemas fuentes por bombeo están constituidos por: fuente(s) de agua, estaciones de bombeo, sistemas de tuberías de conducción, sistema de protección contra el golpe de ariete, depósitos de regulación y/o compensación, entre otros objetos de obra secundarios. Los modelos de simulación en régimen cuasi-permanentes permiten una mejor comprensión del comportamiento hidráulico de los sistemas fuentes por bombeo y sus respuestas a los diferentes condicionantes que se les van imponiendo a lo largo del tiempo, constituyendo un instrumento eficaz en su gestión.

En el presente trabajo se propone una metodología de cálculo para determinar los tiempos de llenado y/o vaciado de los depósitos en los sistemas fuente por bombeo. La misma, se centra en la resolución de un modelo de cálculo discreto que tiene en cuenta las principales variables hidráulicas que caracterizan tres esquemas de operación en los sistemas fuente por bombeo. Estos pueden ser descritos a partir de un esquema típico de diseño común: depósito de succión (sección regular uniforme) → tubería(s) de succión (válvulas, accesorios, etc. se incluyen mediante su longitud equivalente característica) → bomba(s) → tubería de impulsión (válvulas, accesorios, etc. se incluyen mediante su longitud equivalente característica) → depósito de descarga (sección regular uniforme).

El modelo de cálculo de enfoque discreto se implementa en el sistema de cómputo numérico MATLAB versión R2013b para la comparación de diferentes variantes de los esquemas descritos. El procedimiento analítico se emplea en los tres casos de operación a partir de distintas variantes y alternativas de cálculo que reflejan datos reales de las instalaciones de los esquemas descritos.

Debido a que este tema no ha sido abordado con profundidad en la literatura, y debido al gran interés que presenta en el análisis y simulación de los sistemas fuente por bombeo, es que se ha decidido abordar esta temática en el presente trabajo.

02 DESARROLLO

Los sistemas fuente por bombeo se pueden clasificar en simples y complejos a partir de su conformación topológica, desde la fuente de agua hasta el nodo o punto de entrega. Los diferentes esquemas de diseño y operación de los sistemas fuentes por bombeo estarán en función de las características de la toma de succión y descarga y si la demanda es continua (gasto constante) o variable en el tiempo (gasto variable) independiente del tiempo de servicio (Martínez, 2011).

Como se apuntó anteriormente, en esta investigación se trabajará con el esquema de diseño y operación de los sistemas fuentes por bombeo de mayor presencia en la práctica (esquemático según la dirección del flujo): Fuente de abasto (depósito de succión de sección regular uniforme) → tubería(s) de succión (válvulas, accesorios, etc. se incluyen mediante su longitud equivalente característica) → estación de bombeo (bomba(s) de iguales características hidráulicas) → conductora o tubería de impulsión (válvulas, accesorios, etc. se incluyen mediante su longitud equivalente característica) → depósito de regulación o compensación (entrada libre y forzada con cota de entrega fija) (Martínez 2011).

El modelo cuasi-estático, ampliamente utilizado para la simulación en periodo extendido, viene caracterizado por las ecuaciones algebraicas definidas por las ecuaciones de conservación de energía (Ecuación de Bernoulli) y la de pérdidas de carga (Darcy-Weisbach), y al menos una condición de contorno que varíe lentamente en el tiempo (contorno dinámico del depósito).

Los depósitos ya sirvan de fuente de abasto (depósitos de succión: tanques o cisternas) o de descarga o almacenamiento (tanques de regulación o de compensación), es un clásico ejemplo de contorno dinámico que varía lentamente con el tiempo, a poco que su capacidad tenga una cierta entidad en relación con los caudales salientes y entrantes. En consecuencia, un sistema hidráulico con depósitos constituye una aplicación clara y típica de una simulación cuasi-estática. Cómo es conocido, la variación del nivel en un depósito viene dada por la ecuación diferencial ordinaria (Fuertes et al. 2007):

$$Q = A_d \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

Dónde: Q : caudal entrante o saliente al/del depósito, (m^3/s); A_d : sección en planta del depósito, (m^2); h : nivel del agua en el depósito, (m) y t : tiempo de llenado o vaciado del depósito, (s).

En el supuesto de que el depósito se vaciase, el término de la derecha de la ecuación sería negativo y el caudal del miembro izquierdo de la misma pasaría a ser Q_s o caudal saliente. Cuando sucede el caso contrario (llenado del depósito), ambos miembros de la ecuación son positivos y el gasto pasaría a denominarse caudal entrante, Q_e .

DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE LLENADO Y/O VACIADO DE LOS DEPÓSITOS EN LOS SISTEMAS FUENTE POR BOMBEO

A partir del esquema típico de diseño definido, se describen los cuatro casos de estudio de mayor presencia en la práctica ingenieril, los cuales mantienen la misma tipología de diseño, variándose solamente las condiciones hidráulicas y de operación de dichas instalaciones. Para los objetivos que se pretenden exponer en este trabajo, el desarrollo de la metodología de cálculo se realiza solamente

para los casos 2, 3 y 4, ya que el caso 1, al mantenerse constante el gasto de bombeo en el tiempo, este puede obtenerse mediante la ecuación de aforo volumétrico. Los cuatro casos de estudio son los siguientes:

Caso 1: La entrada de agua al depósito de descarga es por la parte superior de este (entrega libre con cota fija), donde se succiona de un depósito en el cual se considera que el nivel de agua se considera fija (nivel en la succión no varía en el tiempo) (véase figura 1). En términos de operación, este es el único caso en el cual se mantiene constante el gasto de bombeo a lo largo del tiempo.

Caso 2: La entrada de agua al depósito de descarga es por la parte inferior de este (entrega forzada con cota fija) y el nivel del agua en el depósito de succión no varía en el tiempo. Este esquema de operación afecta en el gasto que entrega la bomba durante todo el intervalo de llenado del depósito de descarga (véase figura 2). Para este caso, el objetivo es calcular el tiempo de llenado del depósito de descarga, t_{ll} .

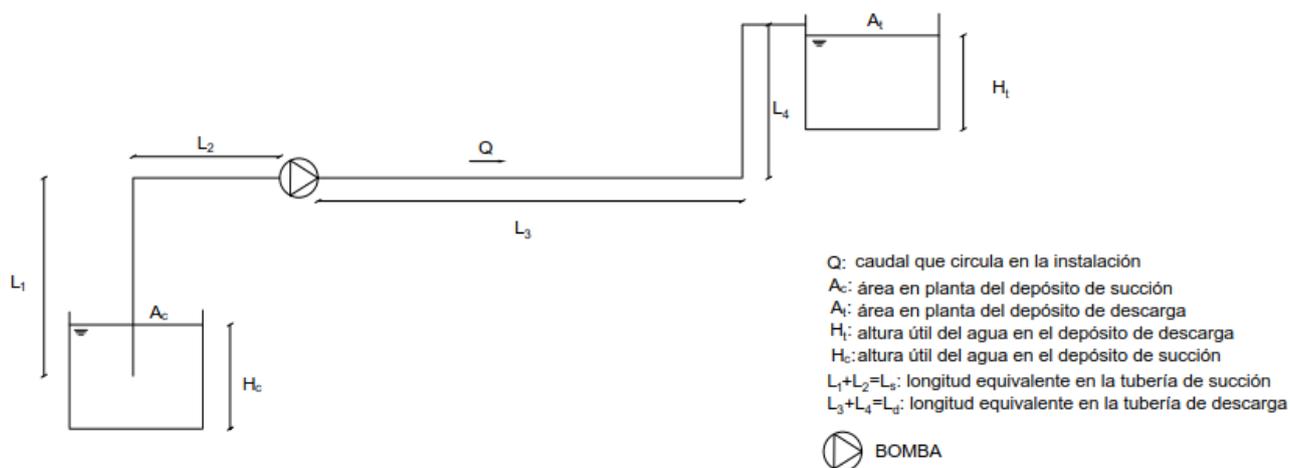


Figura 1. Esquema de diseño y operación de los Casos 1 y 3.

Caso 3: La entrada de agua al depósito de descarga es por la parte superior (entrega libre con cota fija) a la vez que disminuye el nivel en el depósito de succión producto del bombeo. Este esquema de operación afecta en el gasto que entrega la bomba durante todo el intervalo de vaciado del depósito de succión (véase figura 1). Para este caso, el objetivo es calcular el tiempo de vaciado del depósito de succión, t_v .

Caso 4: La entrada de agua al depósito de descarga es por la parte inferior (entrega forzada con cota fija) a la vez que varía el nivel en el depósito de succión. Este esquema de operación implica que, a medida que se llena el depósito de descarga se vacía el de succión, lo cual repercute en el gasto que entrega la bomba, el cual se reduce en el tiempo, en este caso, por el “doble efecto” de la entrada forzada al depósito de descarga y la disminución gradual en el tiempo del nivel del agua en el depósito de succión (véase figura 2). Para este caso es evidente que el tiempo de llenado y vaciado de ambos depósitos es el mismo, por lo cual basta con solo calcular uno de ellos, t_{ll} o t_v .

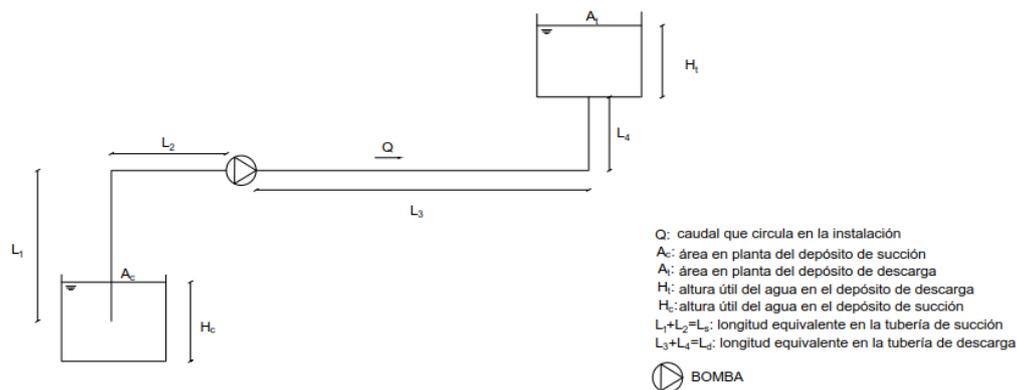


Figura 2. Esquema de diseño y operación de los Casos 2 y 4.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE LLENADO Y/O VACIADO DE LOS DEPÓSITOS EN LOS SISTEMAS FUENTE POR BOMBEO

Como se ha comentado anteriormente, un aspecto fundamental en la simulación de sistemas fuente por bombeo en régimen cuasi-permanente, es la forma en que se efectúa la integración del balance de caudales en cada depósito, con la finalidad de calcular las fluctuaciones de los respectivos niveles de agua a lo largo del tiempo. La dinámica en los depósitos se rige por ecuaciones diferenciales ordinarias, resultantes de la aplicación de la ecuación de Continuidad a cada depósito en el sistema fuente por bombeo. En su formato más general, la caracterización del contorno depósito responde a la ecuación característica (Pulido, Gutiérrez and Asensio 2006):

$$A_d \frac{dh}{dt} - \sum_{i=1}^m Q_i = 0 \quad (2)$$

Dónde: A_d : sección en planta del depósito, (m^2); h : nivel del agua en el depósito, (m) y t : tiempo de llenado o vaciado del depósito, (s); Q : caudal afluente o efluente al depósito, (m^3/s) y m : número de tuberías que convergen al depósito, (adim.).

Existen varias técnicas numéricas que permiten la resolución de la ecuación diferencial (2). La elección del método a emplear dependerá del tipo de problema a resolver. De hecho, las técnicas más simples están sustancialmente afectadas por el intervalo de discretización Δt utilizado (intervalo de tiempo entre dos estados de régimen permanente consecutivos), recomendándose la utilización de pequeños valores de este. Las técnicas más sofisticadas permiten, en general, obtener resultados numéricos más precisos para un mismo intervalo de discretización, con el inconveniente de la exigencia de un mayor tiempo de cálculo para cada intervalo de discretización (Cabrera 1996).

Las dos técnicas de cálculo alternativas más utilizadas son la técnica explícita y el método de previsión-corrección (técnica implícita). La primera se basa en la aplicación del método de Euler para calcular la cota de la superficie libre en el depósito en el instante $(t + \Delta t)$, a partir de conocer dicha cota en un instante previo t . Por su parte, el método de previsión-corrección es una técnica implícita más precisa para integrar la ecuación 2. Fue elaborado por Rao y Bree (1977) basándose en el método de Euler modificado y utilizando un esquema de previsión-corrección. Se clasifica como un método implícito, ya que en su formulación no se conoce a priori el caudal en el instante posterior $Q(t + \Delta t)$. De hecho, este caudal es función de las cotas de los niveles de agua en los depósitos del sistema en el instante $(t + \Delta t)$, las cuales son también previamente desconocidas (Cabrera 1996).

Como puede notarse, ambas técnicas de cálculo basan sus algoritmos de solución en función de la variable tiempo. La metodología que se propone, establece un procedimiento analítico para la determinación del tiempo de llenado y/o vaciado de los depósitos en los sistemas de bombeo, bajo el principio de que los depósitos solo se llenan y/o vacían mediante la acción del bombeo. Para los casos de estudio señalados esto significa que: para el caso 2, el depósito de descarga se llena sin presencia de un caudal efluente de este; para el caso 3, el depósito de succión se vacía solamente debido a que no hay un caudal afluente a este; mientras que para el caso 4, se produce el vaciado y llenado a la vez de los depósitos de succión y descarga, respectivamente, sin existir caudales de entrada o salida hacia o desde dichos depósitos.

El procedimiento analítico para la simulación temporal de estos tres esquemas de diseño, se basa en dos métodos de resolución basados en un enfoque discreto en función de la discretización de la altura, Δh y del tiempo, Δt . La base conceptual detrás de estos dos métodos reside en el trabajo conjunto de la ecuación de conservación de energía (Ecuación de Bernoulli) y la ecuación de aforo volumétrico para el cálculo de los diferentes Δh o Δt en función del método empleado. Ambas vías de cálculo cumplen el mismo objetivo, comprometiendo el uso de una variante u otra a los resultados que se deseen obtener. Por ejemplo, si se pretende conocer el tiempo de bombeo que se requiere para llenar o vaciar un depósito una altura determinada, se debe usar el método de discretización en función de la altura. Por otro lado, con el método de discretización del tiempo, se puede calcular para un lapso dado, la altura de vaciado o llenado de un depósito. A continuación, se presentan las dos técnicas de cálculo alternativas en su modelo desarrollado y, posteriormente, se efectuará una comparación entre los resultados obtenidos.

MODELO DISCRETO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA

El proceso de simulación consiste de los siguientes pasos:

1. Para el instante t_0 (instante inicial de la simulación) son conocidos los siguientes datos: información reológica (deben garantizarse que no cambian en el tiempo), características hidráulicas de las bombas (polinomios representativos de las curvas características) y del sistema de tuberías (materiales, diámetros, presión nominal de diseño y rugosidades absolutas), niveles de agua en los depósitos de succión y descarga, consumos en los nudos de unión (si existiere), números de tuberías que convergen o salen de los depósitos y la ecuación del área en planta del tanque en función de la altura del tanque (si los depósitos tienen tipología prismáticas o circulares, esta expresión es una constante igual al área en planta de los depósitos)
2. Para t_0 se determinan las condiciones de equilibrio hidráulico utilizando las ecuaciones básicas referidas en régimen permanente, lo que permite el cálculo del caudal, Q_0 en el sistema y las cargas a presión en los nudos (si existieren). Para los depósitos, la solución anterior permite obtener los caudales de entrada y/o salida (llenado y/o vaciado). Para el instante inicial, t_0 la secuencia de cálculo sería:

A partir de la ecuación de Bernoulli aplicada para el instante inicial se obtiene:

$$Z_{s0} + H_{B0} = Z_{t0} + hf_{s0} = Z_{t0} + K_n Q_0^n \quad (3)$$

Dónde: Z_{s0} : cota topográfica del nivel del agua en el depósito de succión para t_0 , (m); H_{B0} : carga que desarrolla la bomba para el caudal entregado en el instante inicial, Q_0 , (m); Z_{t0} : cota topográfica del nivel del agua en el depósito de descarga para t_0 , (m); hf_{s0} : pérdidas de carga que se producen en el sistema de tuberías para Q_0 , (m) y K_n : coeficiente característico de la conducción, (s^2/m^5).

Introduciendo en la expresión 3 el polinomio representativo de la curva característica H_B vs. Q , y calculándose las pérdidas de carga a partir de la ecuación de Darcy-Weisbach, se obtiene:

$$Z_{s0} + A \pm BQ_0 - CQ_0^2 = Z_{t0} + hf_{DW0} = Z_{t0} + K_{DW0}Q_0^2 \quad (4)$$

$$hf_{DW} = K_{DW}Q^2 = 0,0826f \frac{L_{eq}}{D^5} Q^2 \quad (5)$$

Dónde: hf_{DW} : pérdidas de carga en la conducción obtenidas por la fórmula de Darcy-Weisbach, (m); hf_{DW0} : pérdidas de carga en la conducción obtenidas por la fórmula de Darcy-Weisbach para el instante t_0 , (m); f : coeficiente de fricción de la tubería determinado por la fórmula de Swamee-Jain, (adim.); L_{eq} : longitud equivalente del sistema, (m); D : diámetro interior de la tubería, (m); Q : caudal de circulación, (m^3/s); K_{DW} : coeficiente característico de la conducción, (s^2/m^5); K_{DW0} : coeficiente característico de la conducción para el instante t_0 , (s^2/m^5); A : coeficiente del polinomio representativo de la curva H vs. Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero, (m); B : coeficiente del polinomio característico de la curva H vs. Q que depende de la geometría del diseño de la bomba, (s/m^2) y C : coeficiente del polinomio específico de la curva H vs. Q que está en función de las pérdidas de carga en el interior de la bomba, (s^2/m^5).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (6)$$

Dónde: f : coeficiente de fricción de la tubería, (adim.); ε : rugosidad absoluta asociada al material de la tubería, (m); D : diámetro interior de la tubería, (m) y N_R : número de Reynolds que caracteriza el flujo en la conducción, (adim.).

$$N_R = \frac{vD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad (7)$$

Dónde: N_R : número de Reynolds que caracteriza el flujo en la conducción, (adim.); v : velocidad media de circulación en la tubería, (m/s); D : diámetro interior de la tubería, (m); ν : viscosidad cinemática del fluido, (m^2/s) y Q : caudal de circulación en la conducción, (m^3/s).

Introduciendo la expresión 5 en la 4, y resolviendo la ecuación de segundo orden resultante por el Teorema de Cardano-Vieta, se obtiene la siguiente expresión para el caso del instante inicial:

$$Q_0 = \frac{-(\mp B) + \sqrt{(\mp B)^2 - 4(K_{DW0} + C)(Z_{t0} - A - Z_{s0})}}{2(K_{DW0} + C)} \quad (8)$$

El valor de K_{DW0} correspondiente para t_0 depende del valor de f_0 , lo cual deriva en un proceso iterativo en función de f :

- 2.1. Suponer un valor de f_0
- 2.2. Calcular K_{DW0} a través de la expresión 5
- 2.3. Calcular Q_0 por la ecuación 8
- 2.4. Calcular el valor de f_0 a partir de Q_0 obtenido en el paso anterior
- 2.5. Comparar el valor de f_{0c} con el valor supuesto en el primer paso, teniendo en cuenta un error relativo de parada, $\xi_r \leq 1\%$. Si esta condición no se cumple debe repetirse la rutina de cálculo hasta garantizar su consecución
3. Una vez obtenido el valor de Q_0 se procede con un proceso de discretización en función de Δh . Los valores de Δh pueden asumirse constantes o variables a lo largo de la altura del depósito, siendo la primera opción la más adecuada para depósitos de sección regular prismática. Como

se ha apuntado anteriormente, mientras más pequeños sean los valores de Δh , se podrán obtener resultados numéricos más precisos. En este paso se procede a asumir el primer valor de h , h_1 siendo válido recordar que: H_t y/o H_c (según sea el caso) queda definido como la sumatoria de los diferentes intervalos h ($h_0 = 0$ (depósito de descarga vacío o depósito de succión lleno) para el instante inicial $t_0 = 0$), sean iguales o diferentes, según la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n h_i = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = H_{t,c} \quad (9)$$

4. Con el valor de h_1 se procede a calcular el volumen correspondiente a esa primera dovela atendiendo a la figura 3, como: $V_1 = A \cdot h_1$. Es evidente que la sumatoria de los diferentes volúmenes será el volumen del depósito. El valor de h_1 se utilizará también para calcular la nueva cota Z_{t1} correspondiente a la cota topográfica del nivel del agua en el depósito de descarga para el tiempo t_1 como: $Z_{t1} = Z_{t0} + h_1$
5. Con estas dos variables definidas (V_1 y Z_{t1}), se pasará a repetir el paso 2 ahora para el cálculo de Q_1 , donde quedarán definidos en el proceso f_1 y K_{DW1}
6. Con ambos valores de gastos, Q_0 y Q_1 se procede a determinar el caudal medio, Q_{m1} que entra o sale de los depósitos en el intervalo de t_0 a t_1 , correspondiente a esa primera dovela

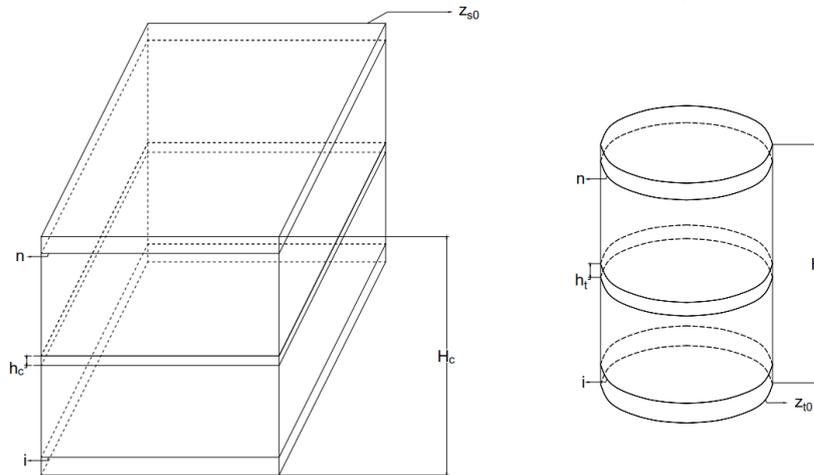


Figura 3. Esquemas de dos tipologías típicas de depósitos de sección regular.

7. Por último, con Q_{m1} y el V_1 se calcula el t_1 mediante la ecuación de aforo volumétrico:

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow t_1 = \frac{V_1}{Q_{m1}} \quad (10)$$

Dónde: Q : caudal de llenado o vaciado de un depósito mediante bombeo, (m^3/s); V : capacidad volumétrica de un depósito, (m^3) y t : tiempo de llenado del depósito, (s).

8. Repetir el procedimiento para nuevos valores de h en el depósito para determinar los respectivos valores de tiempo de llenado o vaciado de cada dovela diferencial, t según sea el caso. El tiempo de llenado, t_l o de vaciado, t_v de un depósito total o parcial, se calculará a través de la siguiente sumatoria de los tiempos de llenado o vaciado de cada dovela:

$$\sum_{i=1}^n t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = t_{l,v} \quad (11)$$

Para la aplicación del método del modelo discreto en función de la altura hay que tener en cuenta varias particularidades que responden a cada caso. En este sentido los casos 2 y 3 se pueden considerar homólogos desde el punto de vista hidráulico. Atendiendo a esto, la ecuación 8 queda configurada para las n dovelas del depósito, para ambos casos, como:

$$Q_{i+1} = \frac{-\overline{(\mp B)} + \sqrt{(\overline{(\mp B)})^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_{ti} + h_{t(i+1)} - A - Z_s)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (\text{Caso 2}) \quad (12.a)$$

$$Q_{i+1} = \frac{-\overline{(\mp B)} + \sqrt{(\overline{(\mp B)})^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_t - A - Z_{si} + h_{c(i+1)})}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (\text{Caso 3}) \quad (12.b)$$

Vale la pena recordar que en el caso 2 el nivel del agua en el depósito de succión se mantiene constante, Z_s , mientras que en el caso 3 esto es una condición establecida para el depósito de descarga, Z_t . En ambas ecuaciones, h_t y h_c se toman como las variaciones del nivel del agua definidas para los depósitos de descarga (Caso 2) y succión (Caso 3) respectivamente.

Tratamiento aparte amerita el Caso 4, el cual se puede tomar como el caso general de este tipo de problemas. Como se ha descrito arriba, y atendiendo a la particularidad del mismo, se deduce que existe una relación entre los volúmenes de los depósitos de aspiración, V_c y descarga, V_t , tal que: $V_c = V_t$, a partir de considerar que no existen aportes ni salidas de volúmenes al sistema. Observando ese principio, se derivan las siguientes formulaciones:

$$h_c A_c = h_t A_t \therefore h_c = h_t \frac{A_t}{A_c}; h_t = h_c \frac{A_c}{A_t} \left| R_A = \frac{A_t}{A_c} \therefore h_c = h_t \frac{A_t}{A_c}; h_t = h_c \frac{1}{R_A} \quad (13)$$

Dónde: h_c : variación de nivel en el depósito de succión, (m); A_c : área de la sección en planta del depósito de succión, (m^2); h_t : variación de nivel en el depósito de descarga, (m); A_t : área de la sección en planta del depósito de descarga, (m^2) y R_A : relación de áreas de los depósitos, (adim.)

Introduciendo en la ecuación 12 las relaciones descritas en la expresión 13 se obtienen las siguientes expresiones:

$$Q_{i+1} = \frac{-\overline{(\mp B)} + \sqrt{(\overline{(\mp B)})^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_{ti} + h_{t(i+1)} - A - Z_{si} + h_{c(i+1)})}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (14.a)$$

$$Q_{i+1} = \frac{-\overline{(\mp B)} + \sqrt{(\overline{(\mp B)})^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)\left(Z_{ti} + h_{c(i+1)}\left(1 + \frac{1}{R_A}\right) - A - Z_{si}\right)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (14.b)$$

$$Q_{i+1} = \frac{-\overline{(\mp B)} + \sqrt{(\overline{(\mp B)})^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_{ti} + h_{t(i+1)}(1 + R_A) - A - Z_{si})}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (14.c)$$

MODELO DISCRETO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

El procedimiento analítico está estructurado por los siguientes pasos, de los cuales, los dos primeros, son los mismos para ambos métodos de cálculo, por lo cual se comienza desde el 3er paso:

- Una vez obtenido el valor de Q_0 se procede con un proceso de discretización en función de Δt . Es recomendable asumir valores constantes de Δt , sobre todo si se trata de depósitos de sección regular prismática. Al igual que en el caso del modelo de solución anterior, mientras más pequeños sean los valores de Δt (discretización más fina), se podrán obtener resultados numéricos más precisos. En este paso se adopta el concepto definido a través de la ecuación 11, asumiendo que, para el instante inicial, $t_0 = 0$.
- A partir de introducir las siguientes relaciones (ecuación 15) en la expresión 4 para el cálculo del caudal en el instante t_{i+1} , se obtiene la ecuación 16 para los Casos 2 y 3:

$$h_t = \frac{\Delta V_t}{A_t} = \frac{Q_m t}{A_t} = \frac{(Q_i + Q_{i+1})t}{a}; a = \frac{1}{2A_t} \quad \left| \quad h_c = \frac{\Delta V_c}{A_c} = \frac{Q_m t}{A_c} = \frac{(Q_i + Q_{i+1})t}{b}; b = \frac{1}{2A_c} \quad (15)$$

$$Z_s + A \pm BQ_{i+1} - CQ_{i+1}^2 = Z_{ii} + (Q_i + Q_{i+1})at + K_{DW(i+1)}Q_{i+1}^2 \quad (\text{Caso 2}) \quad (16.a)$$

$$Z_{si} - (Q_i + Q_{i+1})bt + A \pm BQ_{i+1} - CQ_{i+1}^2 = Z_t + K_{DW(i+1)}Q_{i+1}^2 \quad (\text{Caso 3}) \quad (16.b)$$

Tomando como referencia esta última ecuación, las soluciones para ambos casos para un tiempo t se determinan como:

$$Q_{i+1} = \frac{-(at \mp B) + \sqrt{(at \mp B)^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_t + Q_0 at - Z_s - A)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (\text{Caso 2}) \quad (17.a)$$

$$Q_{i+1} = \frac{-(bt \mp B) + \sqrt{(bt \mp B)^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_t + Q_0 bt - Z_s - A)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (\text{Caso 3}) \quad (17.b)$$

Como parte del proceso de cómputo de los caudales Q_{i+1} , se calcularán los respectivos coeficientes de fricción, f_{i+1} y $K_{DW(i+1)}$ según lo apuntado en el paso 2.

5. Una vez que se calcule un gasto, se trabajará con las relaciones definidas en la ecuación 15 en función del caso que se trate para determinar h_t o h_c para cada intervalo de tiempo, t
6. Se repetirá este proceso hasta lograr completar la altura útil del depósito que se evalúa según el caso (llenado: Caso 2 y vaciado: Caso 3) atendiendo al concepto de la ecuación 9.

A partir del significado que enuncia la expresión 13 y las relaciones a y b de la ecuación 15, se adapta la expresión 17 en función de la variable de referencia de medición, h_c o h_t , obteniéndose para el Caso 4:

$$Q_{i+1} = \frac{-(Nt \mp B) + \sqrt{(Nt \mp B)^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_{t0} + Q_0 Nt - Z_{s0} - A)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (h_c: f(h_t)) \quad (18.a)$$

$$Q_{i+1} = \frac{-(Mt \mp B) + \sqrt{(Mt \mp B)^2 - 4(K_{DW(i+1)} + C)(Z_{t0} + Q_0 Mt - Z_{s0} - A)}}{2(K_{DW(i+1)} + C)} \quad (h_t: f(h_c)) \quad (18.b)$$

$$N = a(1 + R_a); M = b\left(\frac{1}{R_a} + 1\right) \quad (18.c)$$

Se presenta a continuación un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta para ambos modelos discretos, con el objeto de exponer sus posibilidades, capacidades de solución y limitaciones operativas. Se ha procurado mostrar a un ejemplo práctico sencillo, aunque suficientemente ilustrativo para garantizar una mejor comprensión del procedimiento analítico de ambas soluciones. Para la resolución del mismo se ha empleado el software MATLAB versión R2013b para las tres variantes de esquemas de operación (Casos 2, 3 y 4).

CÁLCULO DEL TIEMPO DE LLENADO Y/O VACIADO DE UN DEPÓSITO EN UN SISTEMA FUENTE POR BOMBEO.

La información del sistema fuente por bombeo para los tres casos que se analizarán es la siguiente: diámetro exterior de la conductora, $D = 450$ mm; diámetro interior de la conductora, $D_c = 396,6$ mm; material de la tubería: polietileno de alta densidad (PEAD); rugosidad absoluta media del material, $\epsilon = 2,5 \cdot 10^{-3}$ mm; presión nominal de diseño, $PN = 10$ atm.; longitud de la tubería, $L_c = 1000,00$ m; cota topográfica del nivel del agua en el depósito de succión para t_0 , $Z_{s0} = 15,00$ m (Casos 3 y 4) y $Z_s =$

15,00 m (Caso 2); cota topográfica del nivel del agua en el depósito de descarga para t_0 , $Z_{t0} = 58,00$ m (Casos 2 y 4) y $Z_t = 63,00$ m (Caso 3); área de la sección en planta del depósito de succión, $A_c = 1054,00$ m²; área de la sección en planta del depósito de descarga; altura útil del depósito de descarga, $H_t = 5,00$ m (Casos 2 y Caso 4); altura útil del depósito de aspiración, $H_c = 3,00$ m (Caso 3); $A_t = 527,00$ m² y coeficientes del polinomio representativo de la curva H vs. Q de la bomba: $A = 80,092$ m, $B = 11,384$ s/m² y $C = -571,588$ s²/m⁵.

Para el proceso de cálculo de los coeficientes de fricción, f se utilizó un criterio de parada en base a un error relativo de 10^{-6} , aplicable por transitividad al cálculo de los caudales para cada intervalo de tiempo, Q_i . Se tomó como criterio para la discretización los siguientes valores: $\Delta h = 5$ mm (Casos 2 y Caso 4), $\Delta h = 3$ mm (Caso 3) y $\Delta t = 10$ s (para todos los casos). Basado en esta información, se procede a realizar los cálculos del tiempo de llenado del depósito de descarga (Caso 2), tiempo de vaciado del depósito de succión (Caso 3) y tiempo de llenado y vaciado de ambos depósitos (Caso 4), mediante los algoritmos de solución descritos para ambos modelos, implementados en el software MATLAB versión R2013b.

Para el Caso 2 se obtuvieron los siguientes resultados para los dos modelos de solución: $Q_0 = 0,24307$ m³/s = 243,07 L/s. Como es de esperar, a medida que se fue llenando el depósito de descarga, el tiempo de llenado por dovela ($\Delta h = h_t = 0,005$ m = 5 mm) fue disminuyendo de 0,18068 min. = 10,84 s a 0,19389 min. = 11,63 s. Finalmente, el gasto final correspondiente a la altura útil del tanque ($H_t = 5,00$ m) fue de $Q = 0,22649$ m³/s = 226,49 L/s, menor al inicial, como se puede deducir. Para la variante del modelo discreto en función del tiempo, para un intervalo de $\Delta t = 10$ s, la altura del depósito que se llena varía de 4,61 mm a 4,95 mm. Para este último tramo, el depósito llega a la altura de 5,0029 m, casi tres milímetros por encima del nivel de agua establecido, situación que hubiera sido bien diferente si el intervalo de discretización fuera mayor. Este resultado ilustra las ventajas apuntadas arriba entre los dos métodos de solución. El tiempo de llenado del depósito de descarga fue de 187,05 min. Los dos procedimientos de cálculo para ambos modelos y su resultado gráfico (H_t vs. t_{II}) se muestran en la figura 4.

Para el Caso 3 se alcanzaron los siguientes resultados para ambos modelos de solución: $Q_0 = 0,22649$ m³/s = 226,49 L/s. Para este caso, el tiempo de llenado por dovela ($\Delta h = h_c = 0,003$ m = 3 mm) fue disminuyendo de 0,23268 min. = 13,96 s a 0,24406 min. = 14,64 s. Cuando se alcanza la altura útil del tanque ($H_c = 3,00$ m), el gasto para ese instante es $Q = 0,21593$ m³/s = 215,93 L/s, menor al inicial como era de esperar. Para el modelo discreto en función del tiempo, para un intervalo de $\Delta t = 10$ s, la altura del depósito que se vacía varía de 2,15 mm a 2,25 mm. Para este último intervalo, el depósito se vacía hasta una altura de 3,0012 m, 1,2 mm por encima del nivel de agua establecido. Este resultado muestra nuevamente las ventajas descritas entre los dos métodos de solución y la precisión de estas en función del objetivo que se persiga. El tiempo de vaciado del depósito de succión fue de 238,23 min. Los dos procedimientos de cálculo para ambos modelos y su resultado gráfico (H_c vs. t_v) se muestran en la figura 5.

Para el Caso 4, el gasto inicial para el instante t_0 arrojó $Q_0 = 0,24307$ m³/s = 243,07 L/s. Se resolvió el procedimiento en función de h_t ($\Delta h = h_t = 0,005$ m = 5 mm), obteniéndose una variación del tiempo de llenado de las dovelas de 0,18069 min. = 10,84 s a 0,20169 min. = 12,10 s. En el instante cuando se llena el depósito de descarga ($H_t = 5,00$ m) el gasto de circulación fue $Q = 0,21773$ m³/s = 217,73 L/s, menor al inicial, como se puede deducir. Para la variante del modelo discreto en función del tiempo, para un intervalo de $\Delta t = 10$ s, la altura del depósito que se llena varía de 4,61 mm a 5,15 mm. Para este último tramo, el nivel del agua en el depósito sobrepasa el permitido en 2,8 mm. El tiempo de llenado y vaciado de los depósitos de descarga y succión, respectivamente, fue de 190,61 min. Los

dos procedimientos de cálculo para ambos modelos y sus resultados gráficos (H_t vs. t_{ll} y H_c vs. t_v) se muestran en la figura 6.

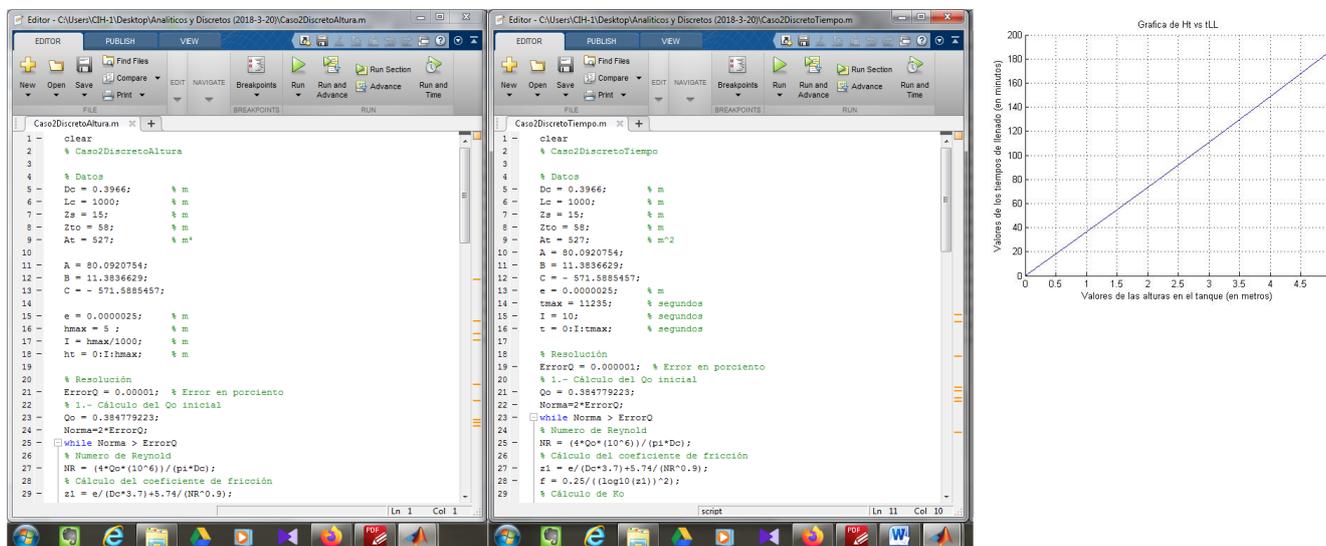


Figura 4. Código de programación del software MATLAB versión R2013b para ambos modelos de solución (altura y tiempo) y gráfica de H_t vs. t_{ll} para el Caso 2.

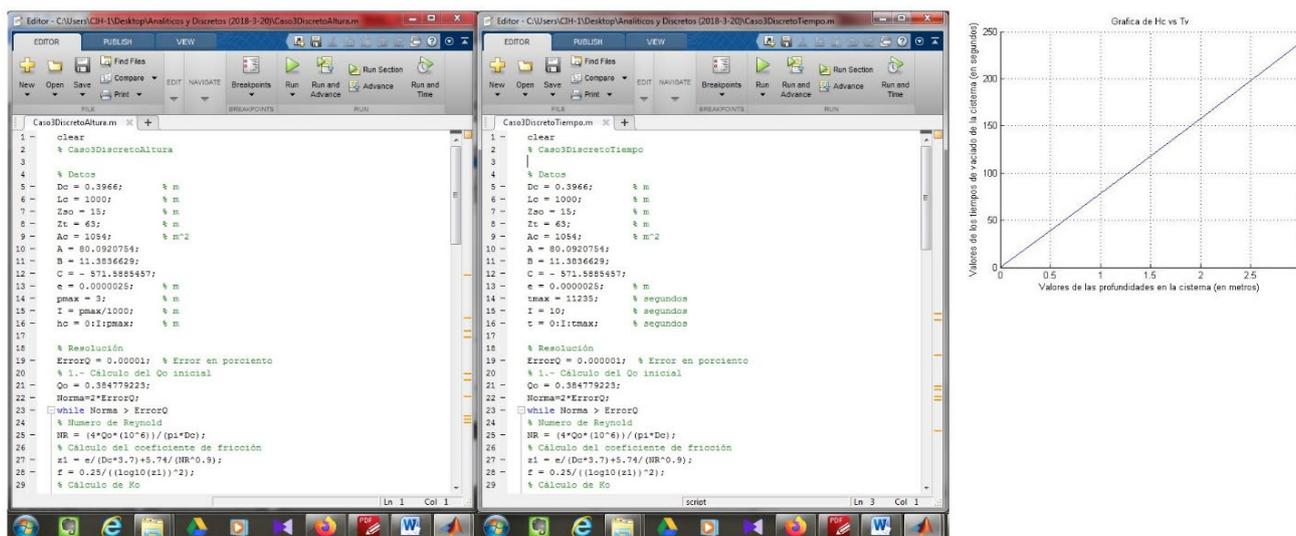


Figura 5. Código de programación del software MATLAB versión R2013b para ambos modelos de solución (altura y tiempo) y gráfica de H_c vs. t_v para el Caso 3.

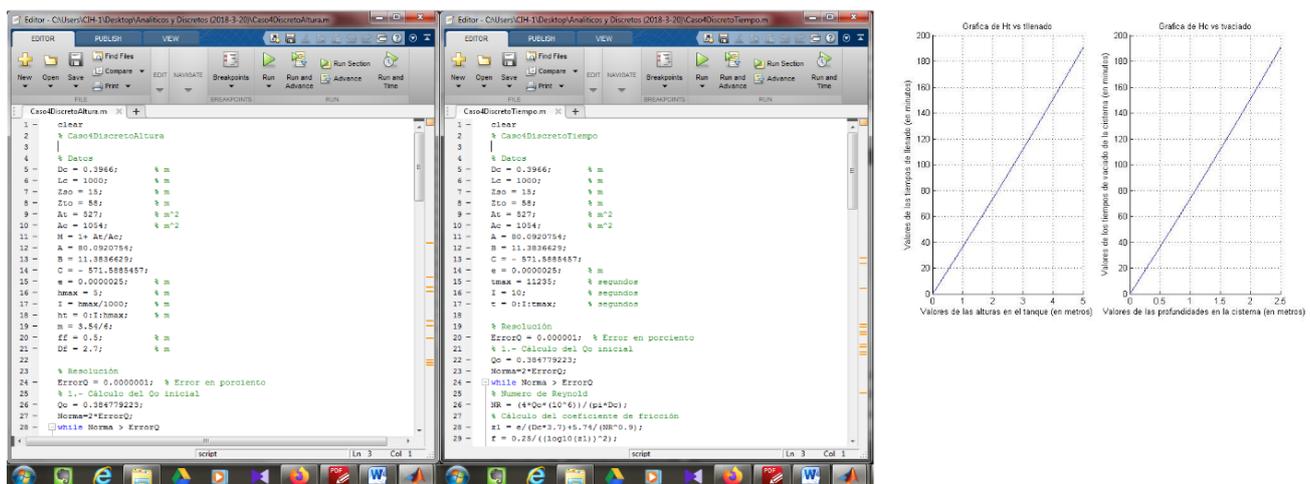


Figura 6. Código de programación del software MATLAB versión R2013b para ambos modelos de solución (altura y tiempo) y gráficas de H_t vs. t_{ll} y H_c vs. t_v para el Caso 4.

05 CONCLUSIONES

El tema tratado en el trabajo no cuenta con mucha divulgación en la literatura, por lo cual se considera conveniente abordarlo desde la óptica de dos modelos discretos de solución que arrojan el mismo resultado práctico, dependiendo de la respuesta que se persiga. El objetivo del trabajo se centró en la elaboración de dos algoritmos para el cálculo de los tiempos de llenado y/o vaciado de los depósitos en los sistemas fuente por bombeo, basados en dos modelos discretos en función de las variables altura y tiempo, los cuales son implementados mediante la herramienta MATLAB versión R2013b.

Las metodologías de cálculo se aplican a un ejemplo práctico para exponer las diferentes posibilidades de cada modelo de solución para los tres casos de estudio (2, 3 y 4). Se obtienen los tiempos de llenado y/o vaciado de los depósitos para el mismo esquema de operación a partir de los algoritmos implementados en la herramienta MATLAB. Estos procedimientos analíticos serán de gran utilidad en problemas ingenieriles específicos de operación, donde sea necesario tener un estimado del tiempo de llenado y/o vaciado de depósitos en un sistema. En un próximo trabajo se expondrá un método analítico con igual fin y se brindará una comparación con los modelos discretos descritos en el trabajo.

06 REFERENCIAS

- Cabrera E.** (1996). "Ingeniería Hidráulica Aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua", 2da Edición, Editorial Unidad Docente Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, t. 1 y 2, ISBN 978-848-94-8701-7, Valencia, España
- Fuertes V. S., Pérez R., Martínez F. J. y López P. A.** (2007). "Optimización del sistema formado por la estación de bombeo, la tubería de impulsión y el depósito de regulación", Pimentel H., Pérez R. e Iglesias P. L. "Abastecimiento de agua: o estado da arte e técnicas avançadas", pp.: 261-274, Editorial Universidade Federal da Paraíba, ISBN 978-85-7745-078-3, Paraíba, Brasil
- Hernández J., Gómez P y Zanzi C.** (2016a). "Mecánica de los Fluidos. Problemas y soluciones", Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), ISBN 978-84-362-7109-6, Madrid, España

- Hernández J., Gómez P y Zanzi C.** (2016b). "Máquinas Hidráulicas. Problemas y soluciones", Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), ISBN 978-84-362-7004-4, Madrid, España
- Martínez Y.** (2011). "Metodología para el diseño hidráulico de las estaciones de bombeo para acueducto", Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae, La Habana, Cuba
- Pulido I, Gutiérrez J. C. and Asensio R.** (2006). "Optimal design of pumping stations of inland intensive fishfarms", *Aquacultural Engineering*, 35 (2006): 283-291, ISSN 0144-8609, Ámsterdam, Holanda
- Rao H. S. and Bree D. W.** (1977). "Extend Period Simulation of water systems. Part A", *Journal of the Hydraulics Division*, February 1977, Volume 103, Issue 2, ISSN 0044-796X, Virginia, Estados Unidos

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Yaset Martínez Valdés <https://orcid.org/0000-0001-9770-022X>

Participó en el diseño de la investigación y en la elaboración de las metodologías de cálculo para la determinación del tiempo de llenado y/o vaciado de los depósitos en un sistema fuente por bombeo. Colaboró en el procesamiento de los datos del ejemplo abordado en el artículo, haciendo contribuciones en su análisis e interpretación, así como en la búsqueda de información en la literatura especializada y en la redacción final del trabajo.

David Ernesto Marón Domínguez <https://orcid.org/0000-0003-4198-9962>

Realizó contribuciones en el diseño de la investigación y tuvo a su cargo la creación de los algoritmos de cálculo para el software MATLAB 2013b. Participó en el análisis de los resultados del trabajo y en la revisión y redacción del manuscrito en su versión final. Colaboró en el procesamiento de los datos del ejemplo abordado en el artículo, haciendo contribuciones en su análisis e interpretación, así como en la búsqueda de información en la literatura especializada y en la redacción final del trabajo.