

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DINÁMICA DE FLUJOS DE HUAYCOS EN UNA QUEBRADA DE ALTA PENDIENTE

Diego Cornejo T.<sup>1</sup>, Manuel Gómez R.<sup>1</sup>, Angel Narro D.<sup>2</sup>, Roger Hidalgo G.<sup>1</sup>,  
Miguel Sánchez D.<sup>2</sup> y Samuel Quisca A.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería, <sup>2</sup>Universidad Nacional Agraria La Molina, <sup>3</sup>SQ & Ingenieros Consultores C. Lima-Perú.  
E-mail: dcornejo@uni.pe, mgomezr@uni.pe, angelnd9@hotmail.com, rhidalgo@uni.edu.pe, msanchez@lamolina.edu.pe, squisca@gmail.com

## Introducción

En el Perú, las inundaciones, huaycos, aluviones y deslizamientos de tierra son los principales desastres naturales asociados al Fenómeno “El Niño”. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI (2017), los daños personales, damnificados y afectados, ocasionados por la ocurrencia del fenómeno de “El Niño” Costero del año 2017, fueron: 49 muertos, 197 lesionados, 410,147 damnificados y afectados.

Para formular adecuadas medidas de mitigación y prevención de los eventos de huaycos, se requiere contar con modelos numéricos de la dinámica de huaycos para predecir la trayectoria, fuerza de impacto y sus áreas de afectación. Si bien las investigaciones de la reología de huaycos han producido formulaciones teóricas y empíricas, aplicables al modelamiento numérico, la validación y calibración de los modelos numéricos son aún incipientes por falta de datos experimentales consistentes.

Para validar los modelos numéricos de flujos de huaycos desarrollados, es necesario contar con datos experimentales de las variables de flujo de huaycos medidos en campo. El estado de arte indica que los modelos numéricos existentes no han sido validados con datos de campo, sino que solo se ha practicado un análisis comparativo de los resultados numéricos de tirantes, velocidades y forma geométrica de la propagación del cono de deposición, con los datos experimentales obtenidos en analogías de modelos físicos a escala.

Se presenta los resultados experimentales parciales del estudio experimental de la dinámica de flujos de huaycos en una quebrada de alta pendiente.

## Instalación experimental

En una quebrada natural de alta pendiente, se estableció el tramo experimental que comprende tres zonas características: zona de almacenamiento del volumen finito de la mezcla agua y partículas sólidas, zona de tránsito del flujo y zona de deposición.

La zona de almacenamiento se localiza en el extremo superior del tramo experimental de la quebrada (Figura 1), donde se instaló el sistema de retención del volumen experimental, conformado por una estructura de almacenamiento y compuerta, conformado por una estructura de almacenamiento y compuerta con sistema de apertura automático (Figura 3). La compuerta es de 2.00 m x 2.20 m, y ha sido construido con perfiles metálicos y madera estructural.

La zona de tránsito tiene una longitud de 60 m con pendiente longitudinal promedio de 17%, y cauce con secciones transversales no-prismático de anchos variables de 1.40 m a 2.10 m, y altura variable de 1.00 m y 1.30 m.

Como instrumentación para medir el tirante del flujo se utilizó sensores de ultrasonido, que fueron instalados en secciones de control, con distanciamientos longitudinales de 6.00 m a 8.00 m entre ellas. Estos sensores registran la diferencia de nivel de la superficie libre del flujo con respecto al nivel de la rasante de fondo de la sección de control, obteniéndose datos para la elaboración de los limnigramas.



Foto 1.- Vista aérea de la quebrada instrumentalizada.

Para medir la velocidad del frente de onda del flujo, se instaló un sistema de circuito cerrado de televisión (sistema CCTV) que permitió filmar y registrar de forma sincronizada y cronometrada el proceso de tránsito de la onda de flujo de huayco por la zona de tránsito. Las cámaras fueron instaladas adecuadamente para abarcar la totalidad esta zona. Además, el trazado del eje longitudinal del canal fue seccionado transversalmente cada 1.00m para la filmación (Figura 2).

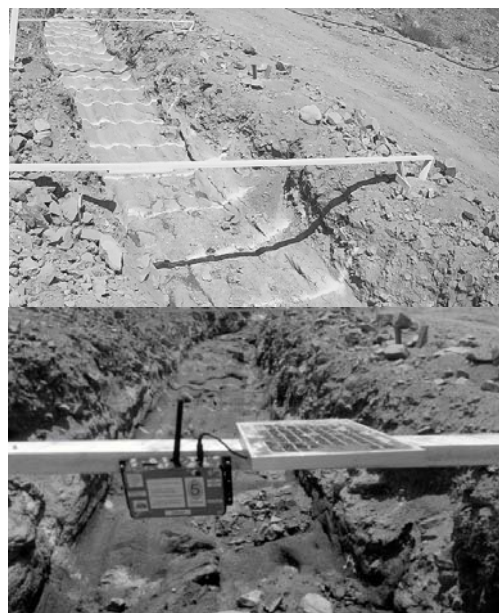


Figura 2.- Estacado y seccionamiento transversal del cauce para su filmación con el sistema CCTV (foto superior). Vista de un sensor de ultrasonido para medición de tirantes del flujo (foto inferior).

## Metodología experimental

El ciclo experimental consta de los siguientes pasos:

- 1) Limpieza y preparación de la instalación experimental.
- 2) Escaneado topográfico inicial del canal experimental.
- 3) Conformación de la cuña de material experimental.
- 4) Instalación, graduación y calibración de la instrumentación.
- 5) Liberación súbita de la cuña de la mezcla bifásica, Figura 3.
- 6) Tránsito de la onda bifásica de flujo de huaycos en el canal experimental, y registro de todo el evento, Figura 4.

- 7) Escaneado topográfico final del canal experimental.
- 8) Recopilación, ordenamiento y procesamiento de datos registrados.



**Figura 3.-** Vista desde aguas abajo de la liberación súbita del volumen finito de la mezcla bifásica y generación de la onda de huayco.



**Figura 4.-** Vista desde aguas abajo de un flujo experimental de huayco sobre la zona de tránsito de la quebrada.

Finalizado cada evento experimental, se verifica que la instrumentación haya registrado adecuadamente la información.

El material granular utilizado para los experimentos fue con una granulometría única, compuesto de 23.7% de gravas, 63.3% de arena, y 12.9% de finos. La gravedad específica del material granular fue de 2.89, y el peso unitario de 1709 kg/m<sup>3</sup>.

En los ensayos experimentales se utilizaron una mezcla bifásica de agua y material granular con distintas concentraciones volumétrica de sólidos  $C_v$  (%), y con diferentes alturas de la cuña de la mezcla bifásica  $H$  (m).

## Resultados

En el Cuadro 1 se presenta los códigos y variables de los 15 experimentos más representativos y con adecuado control de calidad en sus registros. En este cuadro, se observa los valores reales de la concentración volumétrica de sólidos del experimento, son menores a los valores proyectados  $C_v$ .

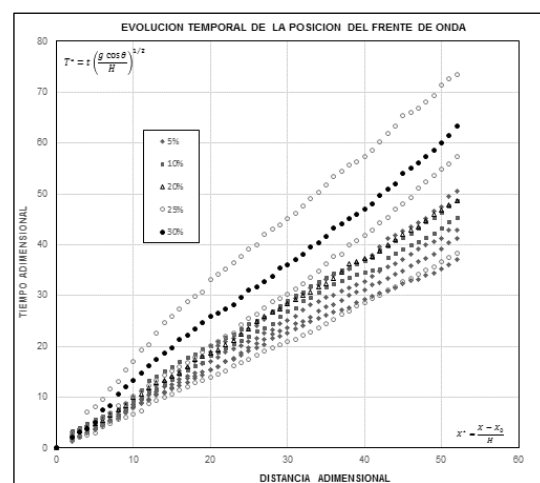
Los resultados experimentales de la evolución temporal del avance del frente de onda se muestran en la Figura 5, donde se plotearon los valores de la longitud adimensional  $X^*=(x-x_0)/H$  versus el tiempo adimensional  $T^*=t(g \cos \theta / H)^{0.5}$ .

Se observa que los resultados del avance de frente de onda para distintos  $C_v$  y tirantes de la cuña de la mezcla fluida en reposo  $H$ , presentan un conjunto de líneas de datos experimentales casi alineados. En estos resultados experimentales evidencian que la velocidad de avance del frente de onda se reduce con el aumento de la  $C_v$ , y la disminución de la altura  $H$  de la mezcla.

Por otro lado, los limnigramas obtenidos en las secciones de control, a partir del ploteo del tirante adimensional  $Y^*=y/(H \cos \theta)$  versus el tiempo adimensional  $T^*=t[(g \cos \theta)0.5]/L$ , evidencian la consistencia física de los registros de datos medidos con los sensores de ultrasonido.

**Cuadro 1.-** Eventos experimentales realizados.

Código	H [m]	$C_v$ [%]	$C_v$ Real [%]
H1-C5-B	1.00	5	4.5
H1-C10-A		10	7.4
H1-C10-B		10	6.8
H1-C20-A		20	12.5
H1-C20-B		20	12.0
H1-C40-A		40	30.2
H1-C40-B		40	26.7
H1.25-C10-A	1.25	10	6.6
H1.25-C30-A		30	19.1
H1.25-C40-A		40	27.9
H1.5-C15-A	1.50	15	9.8
H1.5-C20-A		20	15.6
H1.5-C20-B		20	14.9
H1.5-C30-A		30	16.3
H1.5-C40-B		40	25.6



**Figura 5.-** Evolución temporal de la posición del frente de onda del flujo de huaycos para distintas concentraciones volumétricas de sólidos.

Se concluye que los datos experimentales obtenidos del programa experimental son de utilidad para la validación de modelos numéricos unidimensionales del tránsito de una onda de flujo de huaycos en cauces naturales de alta pendiente.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre-Pe, J., Quisca, S.I., and Plachco, F.P. (1995). "Tests and Numerical One-dimensional Modelling of a High-viscosity Fluid Dam-break Wave", *Journal Hydraulic Research*, IAHR, Vol. 33(1):17-25.
- Aguirre-Pe, J., and Quisca, S.I. (1994). Discussion to: Routing Debris Flow with Particle Segregation, *Journal of Hydraulic engineering*, ASCE, Vol. 120(5):660-61.
- INDECI (2017). Boletín Estadístico Virtual de la Gestión Reactiva, N° 07/Año 4/Julio 2017.
- Quisca, S.I. (2005). "Modelos Numéricos de Predicción para los Flujos de Huaycos y Aluviones". *Proyecto de Investigación N° 083-CONCYTEC*, Informe Técnico y Económico Final, Lima, Perú.
- Quisca, S.I., and Aguirre-Pe, J. (1995). "Unsteady Propagation of a Quasi Two-Phase Wave on a Dry Steep Channel", *Proceeding of the IAHR XXVI Congress of International Association of Hydraulic Research*, Hydra 2000, London, U.K., Vol. III, pp. 208-213.
- Quisca S.I. (1995). "Modelos Numéricos del Flujo de una Avalancha de Barros y Escombros", *Tesis doctoral*, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Hidráulica, Mérida, Venezuela.
- UNI-UNALM-SQ&ICC (2018). "Estudio Experimental de la Dinámica de Flujos de Huaycos a Escala Cuasi-Real en Ríos y Quebradas de Alta Pendiente", *Proyecto de Investigación C-359-PNICP-PIAP-2014*. Informe Técnico N° 3, IMEFEN-UNI, FIA-UNALM, SQ&ICC, Febrero 2018. Lima, Perú.