

Similitudes y semejanzas para un modelo físico del río Chama Mérida Venezuela

Similarity and resemblance for a Chama River physical model at Merida, Venezuela

Aldana¹ Villasmil, Gerardo José; González², Marzia; Medina³, Jesús

¹ La Universidad del Zulia Facultad de Ingeniería Centro de Investigaciones del Agua, Maracaibo, Zulia VE.

² La Universidad del Zulia Facultad de Humanidades y Educación Departamento de Química, Maracaibo VE

³ Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt Programa Ingeniería y Tecnología, C. Ojeda, Zulia VE
gerardoaldavilla7@gmail.com

Resumen

La tormenta Bret que afectó a los estados Zulia, Trujillo, Mérida (1988) y Táchira en 1985, vuelve hacer su impacto en junio 2025, pero esta vez débil en el estado Zulia. El estado Mérida fue impactado con un evento hidrológico de Avenida en el río Chama en el páramo a 3600 msnm desbordando su cauce y cubriendo el área del lecho original en 7 puntos: Apartaderos, Cruz de Mucuruba, Escagüey, Tabay, El Arenal (Don Perucho), Cafetal y Las González. El caudal se incrementó desde 400 m³/s hasta 2700 m³/s (6 veces). Cada punto tiene sus propias características en relación con las dimensiones, rugosidad, geología, fricción en las paredes rectangulares y en el lecho. Se tomó un volumen de control coordenadas N 8° 38' 39", O 70° 58' 00" en la zona de Tabay que incluye 1700 m de longitud y 250 m de ancho con 2 tramos rectos y 1 curvo para el prototipo. Se realizaron los cálculos de la similitud geométrica, cinemática y dinámica para un modelo físico propuesto Esc. 1:50 dimensiones: L = 34 m, W = 5 m y H distorsionada = 15 cm se utilizó el número de Reynolds y las fuerzas de presión, gravedad y Coriolis, para conseguir las semejanzas dinámicas con el prototipo. Las conclusiones indican que existe semejanza entre ambos y se recomienda su construcción para modelar, calibrar y extrapolar aplicaciones en construcción de puentes, construcción de objetos físicos para encontrar disminuir el esfuerzo cortante en los bordes y taludes del río Chama.

Palabras clave: modelo físico, número de Reynolds, similitud, semejanzas.

Abstract

The Bret storm, a main raining for 1985 in the states Zulia, Trujillo, Merida (1988) and Tachira, Venezuela has come back on June month of 2025, this time awake on Zulia area. Merida state was hit hardly with Avenue hydraulic phenomenon on Chama River at the moorland 3600 m over sea level overlanding up its flow water over the embankment until occupying original width cross section. Seven points were impacting along Trasandina current roadside like Apartaderos, Cruz de Mucuruba, Escagüey, Tabay, El Arenal, Cafetal and the Gonzalez. Flow rate increased 6 times from 400 m³/s to 2700 m³/s. A volume control was taken as prototype located at coordinates N 8° 38' 39", W 70° 58' 00", to study one of the affecting areas like Tabay, this is about 1700 m length and 250 m width and 5 m water level that include 2 straight and one curve reach for the prototype. Math calculations were done to reach geometry, Kinematic and dynamic similarity and resemble to achieve statement of a physical model proposal scaled down 1:50, L = 34 m, W = 5 m and H distorted = 15 cm dimension with. A dimensional number Reynolds and pressure, gravity and Coriolis forces demonstrate good agreement for 2D channel between prototype and physical model. Conclusion following that exists resemble and similarity in both studies and then, its highly recommend for construction to analyzed and calibrate and extrapolate results for bridges construction and shear stress force control on Chama River embankment.

Keywords: physical model, Reynolds number, similarity and resemble

1. Introducción

Hacia la cota 4000 msnm aparece la pequeña planicie aluvial de Llano Redondo. Luego la quebrada cambia su curso hacia el sur y en la cota 3600 msnm recibe la quebrada El Águila a partir de allí la quebrada Mifafi se denomina río Chama (Silva, 1999). La longitud total del río Chama es de 200 km hasta la desembocadura en el lago de Maracaibo, el primer tramo (alto) constituido desde la quebrada hasta el Arenal es de 100 Km y el segundo tramo (medio-bajo) desde el Arenal hasta el lago 100 km.

Las características morfológicas de cada tramo son diferentes; el primero con pendiente 8%, lecho conformado por roca de 1 m aproximado de diámetro, sección transversal rectangular, taludes recubiertos con arcilla, roca y vegetación (bambuco). El segundo tramo 1500 msnm con pendiente 3,6%, lecho conformado por grava y arena, sección plana y trapezoidal, taludes de roca maciza (geología tipo cañón) (Ferrer y Laffaille, 2005) y vegetación en el centro del lecho y márgenes.

El río Chama en el primer tramo se puede considerar para caudales promedios de 400 m³/s (valor estimado en sitio) y ancho W=50 m (puente El Arenal) casi no variable equivalente a 1D, pero ante un evento tipo Avenida ocurrido en junio 2025, donde el caudal se incrementó 6 veces (Aldana, 2025) hasta 2700 m³/s y el W = 250m por definición es de 2D. Los modelos físicos de escala reducida del tamaño del prototipo es un método confiable (Aldana, 2004) para ajustar y predecir eventos producidos a escala real (prototipo) y por su tamaño es costoso simular su análisis y soluciones.

Se han utilizado en diseño de puentes (Jiang, 2021) para estudiar problemas de sedimentación y crecidas en ríos (Yu, Zhang y Col., 2025). Modelos físicos en escala reducida igual o menor de 1:50 han sido utilizados en lagunas de estabilización maduración y sedimentadores (Aldana y Pérez, 2010) reactores anaerobios (Pérez y Aldana, 2013), humedales (Ferrer y Col., 2013) utilizando números Adimensionales tales como: Reynolds, Froude, Peclet tienen suficiente significado y aproximación para la similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica (Aldana y Col. 2005), existente entre la relación relativa del modelo y prototipo.

La construcción y calibración del modelo físico es una de las etapas más importante ya que requiere realizar curvas de calibración para la bomba de suministro de agua, correcciones por temperatura para la viscosidad cinemática y ajustes de la distorsión de escala para la dimensión de la altura H (más desfavorable) (Aldana y Col., 2005).

Existe limitada investigación sobre modelos físico 1D, 2D y en particular para el río Chama. La trayectoria del río lo hace en forma de meandros debido a la fuerza de Coriolis (Cañón

y Espinoza, 2003)) lo que genera en la curva una fuerza transversal de mayor magnitud que la misma fuerza paralela al flujo en los tramos rectos. (Cheng, 2012) analizo el impacto sobre estructuras de puentes incluyendo la altura o tirante y la velocidad del agua. (Jieng, 2021) estudio el efecto hidrodinámico del flujo y su impacto en los puentes en tramos curvos del río.

2. Metodología

Las ecuaciones utilizadas son las siguientes: la Ec. de Continuidad para modelos matemáticos de dos dimensiones:

$$E1=E2-hCF-hCA \quad (1)$$

Donde:

hCF = perdidas por coeficiente de fricción (m)

hCA = perdidas por coeficiente de arrastre (m)

$$dVol/dt+dVx/dx+dVy/dy+dVz/dz -hCF - hCA= Vxi +Vyj +Vzk \quad (2)$$

donde: Vz = 0

La semejanza geométrica entre modelo y prototipo o las relaciones entre todas las dimensiones correspondientes y homólogas en modelo y prototipo son iguales.

$$L_{\text{modelo}}/L_{\text{prototipo}} = L_{\text{relativa}} \Rightarrow L_m/L_p = L_r(3)$$

$$A_{\text{modelo}}/A_{\text{prototipo}} = L^2_{\text{modelo}}/L^2_{\text{prototipo}} = L^2_r \quad (4)$$

Existe semejanza cinemática entre modelo y prototipo si:

a) Las trayectorias de las partículas móviles homólogas son geoméricamente iguales.

b) Las relaciones entre las velocidades de las partículas homólogas son iguales.

$$\text{Velocidad: } V_m/V_p = L_m/T_m/L_p/T_p = L_m/L_p : T_m/T_p = L_r/T_r \quad (5)$$

$$\text{Aceleración: } A_m/A_p = L_m/T^2_m/L_p/T^2_p = L_m/L_p : T^2_m/T^2_p = L^3_r/T^2_r \quad (6)$$

$$\text{Caudal: } Q_m/Q_p = L^3_m/T_m/L^3_p/T_p = L^3_m/L^3_p : T_m/T_p = L^3_r/T_r \quad (7)$$

Esta semejanza para alcanzar su objetivo en el prototipo debe cumplir con un número adimensional tal como número de

Reynolds, (Polprasert y Bhattarai, 1985) ajustado a canales en función de las fuerzas que apliquen.

$$\text{No Reynolds} = L \cdot W \cdot Z / [(W - 2Z) \cdot \theta \cdot \nu] \quad (8)$$

donde: L, W, Z = longitud, ancho y profundidad del prototipo o modelo

θh = tiempo de retención hidráulico (s)

ν = viscosidad cinemática (m^2/s)

Ecuación de Manning

$$V = 1/n \cdot R_h^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (9)$$

Perdidas por fricción hCF

$$F_f = C_d \cdot 0,5 \cdot V_{\text{agua}} \cdot \rho \cdot l_{\text{odo}} \cdot \text{Area Transv.} \quad (10)$$

Perdidas por arrastre hCD

$$F_a = C_d \cdot 0,5 \cdot V_{\text{agua}} \cdot \rho \cdot l_{\text{odo}} \cdot \text{Area Transv} \quad (11)$$

Entre dos sistemas semejantes geométrica y cinemáticamente existe semejanza dinámica si las relaciones entre las fuerzas homologas en modelo y prototipo son las mismas.

Fuerzas del Fluido producidas por el río.

F_p : Fuerzas de Presión: $p \cdot A = \rho L^2$

F_G : Fuerzas de Gravedad: $M \cdot g = \rho L^3 g$

F_E : Fuerzas de Coriolis: $f = -2 \Omega \text{ seno } \phi M$: (s^{-1})

ϕ (latitud río) = $8^\circ 38'$; Ω (velocidad angular de la tierra) = $0,73 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

Volumen de Control

Se selecciono un volumen de control para el caso No 4 según Tabla 1, referente a Tabay en La Ceibita como prototipo, de dimensiones $L = 1700\text{m}$, $W = 50 - 250\text{m}$ y $H = 3 - 5\text{m}$, constituido por dos tramos rectos de $L = 500\text{m}$ c/u y uno curvo de $L = 700\text{m}$ en dos escenarios Q_m y Q_{max} . como se muestra en la Figura 1.

Para el modelo se seleccionó una escala reducida ajustada de 1:50 con dimensiones: $L = 34\text{m}$ $W = 1-5\text{m}$ y $H = 6\text{cm}$. Se tomo un modelo distorsionado en la altura de 15 cm (escala distorsionada 2,5%).

La temperatura promedio del río Chama es de 13°C (medida en Tabay) y la viscosidad cinemática del agua a $18^\circ\text{C} = 1,006 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, se realizó una corrección por temperatura usando la ec. de Aldana 2004:

$$\nu = \nu_{18^\circ\text{C}} \cdot e^{-0,0803(T)} \quad (12)$$

$$\nu_{\text{corr } 13^\circ\text{C}} = 9,571 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Tabla 1. Características geográficas de los puntos críticos de la creciente río Chama. Evento 24-06-25.

No	C. Norte	C. Oeste	Long km/nm	Sitio	Municipio
1	8°47'47"	70°51'22"	30/3424	Apartadero sCamino Real	Rangel
2	8°42'27"	70°58'59"	6/2418	Cruz de Mucuruba	Card. Quintero
3	8°41'15"	70°56'38"	12/2205	Escaguey	Rangel
4	8°38'39"	70°58'00"	1/1703	Tabay La Ceibita	Santos Marquina
5	8°37'25"	71°03'20"	7/1645	El Arenal	Libertador
6	8°35'47"	71°07'19"	5/1523	Cafetal	Libertador
7	8°29'50"	71°19'41"	20/955	Las González	Campo Elías

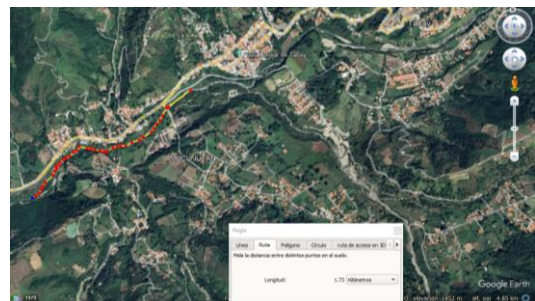


Fig.1. Prototipo se muestra el volumen de control para La Ceibita cerca de Tabay. Ref. Google Earth, 2022

3. Materiales

El modelo se recomienda ser construido con bloques de 15 cm de espesor (concreto) sobre una base piso vaciada en concreto y altura de pared perimetral de 25 cm, la pendiente del modelo 8% se le da elevando el lecho con material de relleno y alisando ver Figura 2.

La fricción en el lecho con grava y arena se genera con piedras corte angular de granulometría 2 cm. En los taludes

se siembra bambuco y se colocan objetos fijos que simulen viviendas a escala reducida 1:50.

n1 = 0,025 roca cortada; n2 = 0,050 vegetación alta

Se recomienda que el modelo sea construido en un terreno privado bajo área techada, con los servicios y cercado para seguridad. Área construcción = 250 m². Ver Figura 3.

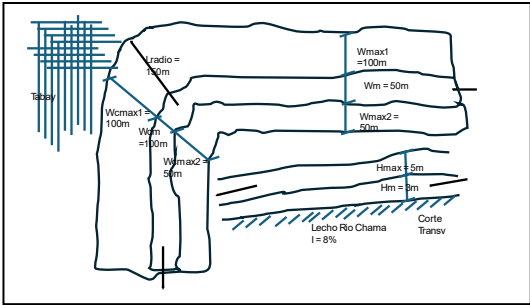


Fig. 2. Esquema del prototipo para construcción del modelo río Chama.

En la Tabla 2 se presentan los cálculos para canal con el Qm, se refleja similitud geométrica entre el modelo y prototipo para el No de Reynolds y el área transversal con Ar = 0,0004. No se observó similitud para las dimensiones L, W y H en la relación relativa.

Tabla 2. Similitud geométrica para canal y Qm

Canal	L (m)	W (m)	H (m)	V (m^3)	A transv	Re canal
Para Qm						
Prototipo	1700	50	3	255000	150	1682182,32
Modelo	34	1	0,06	2,04	0,06	672,87293
Rcm/Rcp	0,0004					
Am/Ap	0,0004		Hay similitud con el No Re y área Ar			
			Geométrica			

4. Resultados y Discusión

Se realizaron los cálculos para cada tipo de similitud

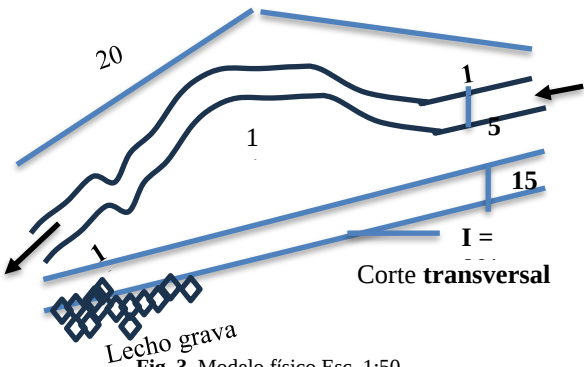


Fig. 3. Modelo físico Esc. 1:50
L= 34m, W= 5m, H= 15 cm

utilizando las ecs 3 hasta 9 para luego encontrar la semejanza entre prototipo y modelo. Se utilizaron varios casos: a) canal para los tramos rectos y b) curvo; en ambos se calcularon todas las similitudes y semejanzas para los escenarios: 1) Qmedio = 400 m³/s y 2) Qmax = 2700 m³/s.

Se elaboro un programa en una hoja de Excel y se analizaron 12 casos incluyendo: 2 caudales; para valores medios y máximos en el evento ocurrido el 24/06/25, 3 similitudes y 2 tramos: recto (canal) y curvo, se presentan para la discusión 7 casos.

En la Tabla 3 se presenta los cálculos para curva con el Qmax, se refleja similitud geométrica entre el modelo y prototipo para el No de Reynolds y área transversal relativa.

Tabla 3. Similitud geométrica para curva y Qmax

	L (m)	W (m)	H (m)	V (m^3)	A transv	Re canal
Para curva Qmax						
Prototipo	700	250	5	875000	1250	1058235,61
Modelo	14	5	0,1	7	0,5	423,294245
Rm/Rp	0,0004					
Am/Ap	0,0004					
Lm/Lp	0,02		Hay similitud con No Re y Ar, no hay similitud con Lr			
			Geométrica			

En la Tabla 4 se presenta los cálculos para canal con el Qm,

se refleja similitud cinemática entre el modelo y prototipo solo para el Q relativo. No hay para Tiempo, Velocidad ni Aceleración.

Existen dos tiempos:

a) θh = tiempo hidráulico = 3600 s (tiempo igual para el modelo y prototipo = 1h para flujo medio).

b) Tiempo teorico_p = 900s (15min); tiempo teórico modelo = $900/50 = 18$ s (tiempo que ocurre el evento o Avenida).

La velocidad y la aceleración se consideran iguales porque ocurre en una fracción de tiempo muy corto de 1 s.

La velocidad fue medida aguas arriba del puente El Arenal con objetos flotantes (naranjas) para Q_m y vario en el rango de 2 a 8 m/s.

Tabla 4. Similitud Cinemática para canal y Q_m

Canal	T (s)	V (m/s)	A (m/s ²)	Q (m ³ /s)
Para Q_m				
Prototipo	900	2	2	116,666667
Modelo	18	0,04	0,00222222	0,04666667
T_m/T_p	0,02			
V_m/V_p	0,02			
A_m/A_p	0,00111111		Hay similitud cinemática para Q. No hay para T, A	
Q_m/Q_p	0,0004			

En la Tabla 5 se presenta los cálculos para la curva con el Q_m , se refleja similitud cinemática entre el modelo y prototipo solo para la Velocidad relativa. No hay para Tiempo, Velocidad ni Aceleración ni Caudal.

Los vectores de velocidad y fuerza tienen dos componentes en la curva:

a) En la dirección x = Lradio prototipo = 150 m, el ángulo $\alpha = 0,72 \arctg(2,50/200)$.

$F_x = 150 \cdot \sin(0,72) = 1,88$ Nw,

b) En la dirección y, (Artículo de Investigación. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 47, No. 3 agosto-noviembre, 2026).

$F_y = 150 \cdot \cos(0,72) = 150$ Nw, se considera despreciable F_x .

La fuerza resultante viene dado $F_r = \sqrt{F_y^2 + F_x^2}$. De la misma forma para el vector velocidad $V_y = 42,20$ m/s. La velocidad en la curva para el prototipo aumenta 20 veces con respecto a la velocidad en el canal desde 2 m/s hasta 42,20 m/s.

Al dividir la V_m entre la V_p el valor es 0,00094785, (exponencial es 10^{-4}) existiendo similitud cinemática para la curva, lo cual no ocurre en el canal donde $V_m/V_p = 0,02$ (exponencial es 10^{-2}).

Si comparamos los valores calculados en las Tablas 4 y 5, existe similitud cinemática para $Q_m/Q_p = 0,0004$ en el tramo, no ocurre así para la curva $Q_m/Q_p = 0,00720002$.

De la misma forma no ocurre similitud cinemática según se observa en las Tablas 4 y 5, para los tiempos T_m/T_p ni para las aceleraciones A_m/A_p para los tramos en el canal ni para la curva.

En conclusión, la similitud cinemática para la velocidad y el caudal son las variables que dominan para el diseño del modelo demostrado tanto en el canal como en la curva.

Tabla 5. Similitud Cinemática para curva y Q_m

	T (s)	V (m/s)	A (m/s ²)	Q (m ³ /s)
Para curva Q_m				
Prototipo	900	42,200619	42,200619	972,22
Modelo	18	0,04	0,00222222	7
T_m/T_p	0,02			
V_m/V_p	0,00094785			
A_m/A_p	5,2659E-05		Hay similitud cinemática para Velocidad no hay para T, A, Q	
Q_m/Q_p	0,00720002			

En la Tabla 6 el tiempo para el evento de la Avenida en el modelo se distorsiona 10% F.S. = 0,1, para conseguir similitud T_r . La velocidad se incrementó en el evento de 8 m/s a 100 m/s (12,5 veces).

El caudal aumento a un $Q_{max} = 1888,89$ m³/s casi 12,5 veces el Q_m , lo que produce un gran impacto en la tangente de la curva.

La relación de tiempo distorsionado con un factor de 0,1 entre el $T_m/T_p = 0,0002$ (exponencial 10^{-4}) y al relacionar con ese valor de Q_{max} existe similitud cinemática.

No hay similitud cinemática en la curva para Q_{max} en las variables de Velocidad $V_m/V_p = 0,002426$, Aceleración $A_m/A_p = 0,01348058$ ni en el Caudal $Q_m/Q_p = 0,02058824$.

El factor de distorsión de 10% para el tiempo en la curva y simular el evento de la Avenida es muy sensible, lo que amerita realizar calibraciones una vez construido el modelo físico.

Estas curvas de calibración deben ser muy específicas entre el caudal y el área de la curva en el modelo a construir escala 1:50.

En la sección transversal de la curva el ancho se incrementa tanto en el prototipo y en el modelo, pero, la profundidad se distorsiona desde 6 cm a 15cm por la escala vertical, lo que hace muy sensible las variables de aceleración y velocidad.

Esto requiere ser estudiado con mucho detalle en el futuro modelo y construir curvas de calibración para la profundidad y el caudal. Determinar qué relación existe si es una variación lineal o curva y determinar los coeficientes de las ecuaciones.

Tabla 6. Similitud Cinemática para curva y Q_{max} .

	T (s)	V (m/s)	A (m/s ²)	Q (m ³ /s)
Para curva Q_{max}				
Prototipo	900	65,9384672	65,9384672	1888,88889
Modelo	0,18	0,16	0,88888889	38,8888889
T_m/T_p	0,0002	F.D. = 0,1		
A_m/A_p	0,01348058		Hay similitud cinemática para el Tiempo distorsionado o Tr	
V_m/V_p	0,0024265			
Q_m/Q_p	0,02058824			

Dichas ecuaciones se determinarían controlando el caudal y midiendo que velocidades se obtendrían en el cauce del modelo. Para ello se pueden utilizar objetos flotantes, por ejemplo, uvas con ejes verticales (palitos de madera) que mantengan la flotación y la verticalidad del objeto. Es decir que no se hundan y determinen velocidad superficial.

Las ecuaciones, además, nos permitirían visualizar cual es el comportamiento independiente y el grado de complejidad o libertad de las curvas.

Otros factores que se tendrían que considerar es la rugosidad de las paredes (taludes) y del lecho. Varios tipos de materiales habría que utilizar y seleccionar el que aproxime mejor ajuste.

En conclusión, las variables más desfavorables que tendría un futuro modelo físico es simular el Q_{max} , en una curva a escala reducida a 1:50 y con profundidad distorsionada 2,5 veces es decir 15cm equivalente a lo que ocurrió el 24 de junio de 2025, en el punto crítico de Tabay.

En la Tabla 7 se muestran los valores en el canal con Q_{max} , los cuales varían para la fuerza de presión, ejercida por el fluido en el prototipo en términos de 1×10^{10} Nw, similar para la fuerza de gravedad, y (-) 1×10^7 Nw para la fuerza de Coriolis, siendo valores negativos.

Los valores del modelo son 1×10^7 , 1×10^5 y -1×10^2 , respectivamente. La similitud dinámica en el canal con Q_{max} para un evento de Avenida, existe solo para las fuerzas de presión $F_m/F_p = 0,0004$ pero, no hay similitud dinámica en el canal con el modelo para las fuerzas de gravedad $F_m/F_p = 0,000008$ ni para las fuerzas de Coriolis $F_m/F_g = 0,000008$.

Tampoco existe similitud dinámica por supuesto para las masas, viscosidad cinemática del fluido y las longitudes entre el modelo y el prototipo.

Estas magnitudes de las tres fuerzas en conjunto demuestran la potencia natural del fluido, la cual arrastro, viviendas (2 pisos) de 300 Tn de peso, puentes de concreto y metálicos, camiones 350, animales vacunos, arboles de 30m de altura como una hoja de papel (en sentido figurado).

En conclusión, la similitud dinámica entre el modelo y el prototipo en el canal y para un Q_{max} o de Avenida solo se puede alcanzar para las fuerzas de presión. Esto es bastante representativo porque se puede iniciar la calibración del modelo en el canal y luego, extrapolar los coeficientes para la curva.

En el caso del futuro modelo a construir las fuerzas dinámicas para el evento crítico a simular en Tabay, la fuerza de presión presenta buena correlación en comparación a las de geometría y cinemáticas

Esto es significativo para el modelo futuro porque involucra las fuerzas de presión que son muy elevada.

Tabla 7. Similitud Dinámica en el canal para Qmax.

CanalPara Qmax	Fpresion Nw	Fgravedad	Fcoriolis	Masa (kg)	T (oC)	v (m ² /s)	L (m)
Prototipo	3468000000	1,0301E+10	-1325758,44	1050000000	18	1,006x10 ⁻⁶	1700
Modelo	1387200	82404	-10,6060675	8400	13	9,57x10 ⁻⁷	34
Fm/Fp	0,0004	0,000008	0,000008				
Mm/Mp	0,000008						
vm/vp	0,956		Hay similitud dinámica para la Fuerza de Presión				
Lm/Lp							0,02

La similitud dinámica para la curva y Qm, se logra en las tres fuerzas de presión, gravedad, Coriolis y Masas, es el caso de semejanza con el prototipo más significativo. En el caso de Qmax solo se logra similitud con la Fuerza de Presión.

En resumen, las tres similitudes se cumplen para el modelo y prototipo siendo la geométrica significativa en el tramo canal y curva para los dos escenarios. La Cinemática resulto ser significativa tanto en el tramo canal como en curva y con las relaciones relativa de Caudal, velocidad para el primer escenario y con Tiempo distorsionado 10 % en curva para el segundo.

La similitud dinámica es significativa tanto para el tramo de curva en el primer escenario siendo este el más significativo de todos, y en el segundo escenario para las fuerzas de presión en el tramo canal.

Las fuerzas de Coriolis actúan en los tramos rectos del río (alto y bajo) después de 30 km de longitud en Apartaderos (ver Tabla 1) elevando la energía cinética en forma de olas de 1 m hasta 2 m y socavando en el lecho del río (Cañón y Espinoza, 2003).

En la Tabla 7 la similitud dinámica en el canal para Qmax se encuentra con la fuerza de presión, Fpr ejercida por el fluido en el prototipo en términos de 1×10^{10} Nw, similar para la fuerza de gravedad, y -1×10^7 Nw para la fuerza de Coriolis, pero, para esas dos últimas no hay similitud dinámica en el canal con el modelo.

En la Tabla 7 la fuerza de Coriolis está en el orden de $-10 \text{ E}+06$ en el prototipo y representada en el modelo por $-10 \text{ E}+02$.

En la Tabla 7 la relación entre la viscosidad cinemática del modelo y del prototipo se logra alcanzar cerca de la unidad (0,956). Esta relación es significativa porque existe similitud dinámica.

En la Tabla 8 se muestra la similitud dinámica en la curva para caudales medios.

En el río Chama (medio) las distancias de los meandros son más cortos entre sí, incrementado los tramos curvos con longitudes que varían de 1 a 12 Km (ver Tabla 1), las fuerzas internas y olas se incrementan produciendo erosión, socavación y esfuerzos cortantes tangenciales a la derecha de los taludes en los tramos curvos (Cañón y Espinoza, 2003), libro de Aldana Mecánica de los fluidos y modelos físicos, 2025.

Basado en estos conocimientos sobre el río Chama se debe evitar las construcciones cerca del margen del río y deben estar retirados al menos 500 m de cada lado y a 800m preferible en las progresivas del río medio, vale decir: Escaguey, Cacute, Mucuruba, Tabay, El Arenal.

Los puntos más críticos están ubicados en el río Chama medio; donde las longitudes de los meandros son muy cortas la fuerza de Coriolis afecta más, y el impacto de erosión en taludes de 30 m de altura. Por lo tanto, cada punto crítico (ver Tabla 1) requeriría del diseño, análisis, construcción y calibración de modelos físicos por separado.

La calibración de varios modelos físicos para el río Chama significa gastos de inversión, en la ubicación del terreno cerca del río, construcción, seguridad, protección, personal y mantenimiento de cada modelo físico. Esta infraestructura funcionaría como centros de investigación y formación de recursos humanos.

Tabla 8. Similitud Dinámica en la curva y Qm

Curva							
Para Qm	Fpresion Nw	Fgravidad	Fcoriolis	Masa (kg)	T (oC)	v (m ² /s)	L (m)
Prototipo	490000000	1144500	- 147,306494	116666,667	18	1,006x10 ⁻⁶	700
Modelo	196000	457,8	-0,0589226	46,6666667	13	9,57x10 ⁻⁷	14
Fm/Fp	0,0004	0,0004	0,004				
Mm/Mp	0,0004						
vm/vp	0,95						

Las estructuras de puentes, drenajes, pasos peatonales y otras, tipo envergaduras metálicas y concreto armado deben diseñarse para periodos de retornos de 50 a 100 años y Tr = 60 min, debido a que los datos pluviométricos se incrementan de 45 mm (< 20 años) a 65 mm (> 75 años) (Delgadillo y Col., 2004).

5. Conclusiones

Este estudio demostró la factibilidad y alta recomendación para la construcción de un modelo físico calibrado de escala reducida 1:50 para la investigación y análisis del río Chama que tiene elevado grado de complejidad.

El modelo físico es un modelo distorsionado tanto en el tirante de agua F.S.= 2,5% más en la variable tiempo 10% resultando un error del 12,5% de ajuste y extrapolación de resultados. La literatura recomienda 25% máximo de error para modelos físicos.

Los modelos físicos a escala reducida son muy significativos, porque permiten el ajuste geométrico, cinemático y dinámico entre el prototipo y el modelo. Estos modelos son de gran utilidad en la construcción de obras de envergaduras como puentes, muros y taludes en los ríos.

El río Chama y el río Motatan los cuales están ubicados al sur y al norte de la ciudad de Mérida, respectivamente, son de caudales elevados ambos y superiores a los 1800m³/s, lo que hace necesario el uso de modelos físicos para su estudio y reducción de inversión por la escala.

Para la construcción del modelo se recomienda realizar algunos convenios entre universidades tales como: ULA, LUZ, UNERB e instituciones públicas y privadas, de manera

de formar recursos humanos en el área.

Referencias

- Aldana, G. y col. (2005). The development and calibration of a physical model to assist in optimising the hydraulic performance and design of maturation ponds. *Water Science and Technology* <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-23844539691&partnerID=MN8TOARS>
- Aldana V. G., (2004). Hydraulic behaviour and performance improvement of waste stabilisation ponds using a computational fluid dynamic and physical model. *Ph.D. Thesis web University of Surrey Centre for Environmental Health and Engineering*. <http://www.unisurrey.ac.uk>.
- Aldana, G.y col. (2010) Simulación del patrón de flujo y del tiempo de retención hidráulico en lagunas de estabilización y reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) a través de un modelo físico. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79551486535&partnerID=MN8TOARS>
- Aldana Villasmil Gerardo J. Libro: Mecánica de los Fluidos y Modelos Físicos. Teoría y Aplicaciones Cap. 10. *Amazon Editorial* (2025) ISBN: 978-980-18-6409-7 (Publicado julio 2025)
- Aldana V. G. (2025) Notas de cátedra: Simulación y Modelaje de la Hidrodinámica en cuerpos de agua. *Maestría en Ingeniería Ambiental División de Postgrado Fac. Ingeniería LUZ*.
- Cañón J. y col. (2003) Modelaje del Efecto de Coriolis y su influencia en la erosión geológica. *Boletín de Ciencias de la Tierra – Num. 15, noviembre - Medellín - ISSN 0*

120-363

Chen J. y col. (2012) Influence of Bridge Construction on Water Flow Movement in Different Characteristic Reaches of the Middle and Lower Yangtze River. *Eng. J. Wuhan. Univ.*, 45, 340–344+355.

<https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract>

Delgadillo A. y col. (2004). Caserío La González-urbanización Villa Libertad: un estudio de amenazas múltiples y vulnerabilidad en la cuenca media del río Chama (Andes Venezolanos). *Memorias del V Congreso Venezolano de Geografía*. 1-14. Mérida Venezuela (29 noviembre-3 diciembre). (CD-ROM; Trabajo N° 17: Tema III Geomorfología. Amenazas Naturales y Riesgos Ambientales).

Ferrer C. y col. (2005) Un estudio de amenazas múltiples en la cuenca media del río Chama (Andes centrales venezolanos): caso zanjón El Paraíso *Revista Geográfica Venezolana*, Número especial, 93-117.

Ferrer G. y col. (2013) Determinación del tiempo retención hidráulico en humedales construidos de flujo horizontal usando un trazador químico. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894176093&partnerID=MN8TOARS>

Jiang F. (2021) Impact of Pier Layout Forms on the Hydraulic Characteristics of Bend Flow. *Master's Thesis, Hebei University of Engineering, Handan, China*. <https://doi.org/10.3390/app15126581>

León Silva G. (1999) Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica venezolana*. Vol. 40, Num. 1.

Pérez, J. y col. (2013) Modelación física de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894175062&partnerID=MN8TOARS>

Polprasert, Ch. y col. (1985). Dispersion model for stabilization ponds. *Journal of Environmental Engineering* 111(1), 45-59.

Yu Zhang y col. (2025) Physical Model Research on the Impact of Bridge Piers on River Flow in Parallel Bridge Construction Projects. *Appl. Sci.* 15, 6581. <https://doi.org/10.3390/app15126581>

González, Marzia: M.Sc.. in Environmental Science, 2012, Universidad del Zulia LUZ. Division de Postgrado de Ingeniería, Maracaibo, Zu, VE. Correo electrónico: marziag21@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-2590-7166>

Medina, Jesús: Doctorate in Education, 2024, Universidad Experimental Rafael María Baralt UNERMB. M.Sc in Mathematical Universidad del Zulia LUZ (2011), Zu, VE.. Correo electrónico:

jesusalbertomedinamarquez@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-0866-4118>

Recibido: 21 de enero de 2026

Aceptado: 21 de junio de 2026

Aldana Villasmil Gerardo: Ph.D. in Environmental Engineering, 2004, University of Surrey, Guilford, UK. Water Research Centre Engineering Faculty. University of Zulia LUZ.

<https://orcid.org/0009-0001-3769-075X>

