ESTUDIO EN MODELO HIDRÁULICO FÍSICO REDUCIDO DEL FLUJO EN UNA TOMA DE FONDO TIPO CAUCASIANA O TIROLESA

SALOMÓN JAYA QUEZADA
MAYRA NARVÁEZ CHUQUISALA
LUIS PÉREZ CÁRDENAS

Universidad Central del Ecuador

Resumen

Se presentan los resultados obtenidos del estudio en un modelo hidráulico físico reducido, de la variación de la inclinación de la rejilla de la captación en la toma de fondo o tirolesa del río Arturo, que abastece a la laguna de San Marcos, fuente principal del proyecto de riego Cayambe – Tabacundo. Se determinó que, con el 20% de inclinación de la rejilla, sse obtiene el mejor rendimiento, tanto para el caudal líquido como para caudal sólido.

Palabras claves: Modelación hidráulica, captación tirolesa, rejilla, tabacundo, sistema de riego, caudal.

Antecedentes e introducción

Para atender la demanda de agua que requiere la humanidad para consumo, (agua potable, riego, hidroelectricidad, agricultura, etc). ésta es extraída de fuentes tanto de origen superficial como subterráneo.

Para captar el agua de fuentes superficiales a gravedad, para los proyectos hidráulicos, se requiere de estructuras de derivación y de conducción. Estas obras se colocan directamente sobre las fuentes como ríos, embalses, etc.

Al ser una representación de la realidad, tanto cualitativa como cuantitativa de un sistema hidráulico, los modelos hidráulicos físicos constituyen un elemento muy acertado para analizar y describir el comportamiento del agua.

La presente investigación se enfoca en la modelación hidráulica física de la toma de fondo del río Arturo, ubicado en el proyecto de riego Cayambe–Tabacundo, localizado en los cantones Pedro Moncayo y Cayambe, en la provincia de Pichincha, al norte del Ecuador, el mismo que en la actualidad esta siendo ejecutado por el Gobierno de la Provincia de Pichincha. El área de riego es de aproximadamente 12.923 hectáreas en los cantones antes mencionados. Este importante proyecto que contribuirá al

desarrollo agroindustrial del país ha tenido que esperar más de 20 años para su ejecución.

En la parte hídrica el propósito es captar las aguas de los afluentes de la vertiente oriental de la cuenca alta del río Azuela, que son los ríos Arturo, Boquerón y San Pedro para a través de un túnel, conducirlos hacia la laguna de San Marcos, con el propósito de elevar su cota. En la laguna se construirá una presa para la regulación de caudales, y de aquí se conducirá un determinado caudal para luego, conjuntamente con el caudal del río La Chimba, abastecer al canal de riego.

Esta investigación está principalmente direccionada a la búsqueda de resultados como parámetros de diseño que la obra puede requerir antes de su construcción. Además, la determinación de la mayor eficiencia de captación mediante la variación del ángulo de inclinación de la rejilla.

La construcción de un modelo hidráulico reducido requiere de una inversión económica, además del tiempo de construcción y ensayos, pero conduce a un ahorro y eficiencia mucho mayor gracias a las mejoras que puedan ser introducidas.

Base científico – teórica

Objetivos y alcance de la modelación física

Objetivos de la modelación física

Los modelos hidráulicos físicos, constituyen una herramienta muy poderosa para tratar de conocer y comprender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructurasl. En este caso se tratará de conocer, describir y analizar un sistema de obra de captación de fondo, tipo caucasiana o tirolesa, para contar con una mejor base de conocimiento.

Alcance de la modelación física

Los fenómenos hidráulicos que ocurren en la naturaleza, por ser muy complejos, no es posible analizarlos y describirlos en su totalidad, sólo podemos hacerlo parcialmente.

El modelo es una representación a escala que nos permite establecer una secuencia para realizar una investigación sobre las variables que intervienen en un sistema.

La investigación en modelo hidráulico se basa en la teoría de la semejanza. Consiste fundamentalmente en establecer leyes o relaciones funcionales

mediante similitud geométrica (lados, superficies y volúmenes), cinemática (movimiento, velocidad), y dinámica (fuerzas actuantes sobre el flujo), que conjuntamente relacionan las magnitudes físicas homólogas definidas entre el prototipo y el modelo.

El requerimiento básico de la modelación hidráulica consiste en reproducir fielmente el comportamiento del sistema del prototipo, una vez que se ha realizado la adecuada identificación de los principales parámetros que influyen en el fenómeno en investigación, para así obtener como resultados patrones de flujo, niveles de agua, presiones, etc., que posteriormente serán útiles para el diseño de la obra o también en las condiciones de operación de la misma.

Similitud dinámica exacta y restringida

La utilización de un modelo hidráulico implica que éste debe ser semejante al prototipo, es decir, que sus movimientos de flujo deben tener comportamientos similares, para lo cual debe satisfacerse ciertas leyes que relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas; esto se puede obtener al cumplirse la similitud geométrica, cinemática y dinámica.

Similitud geométrica se cumple cuando las magnitudes geométricas que condicionan el fenómeno hidráulico en estudio, tienen la misma relación de escala, es decir:

Para cualquier longitud L

$$L = \frac{L_p}{L_m} = E_l$$

De donde
EL= Escala de longitudes,
LP=Longitud de prototipo, y
Lm=Longitud de modelo

Similitud cinemática se la obtiene cuando, al comparar el prototipo y el modelo, los patrones de flujo homólogos con respecto a un movimiento son iguales en cualquier tiempo. Esto quiere decir que la relación de velocidades es constante y la escala de velocidades también lo es; debe cumplirse la similitud geométrica para que se cumpla la similitud cinemática, por lo tanto se tiene que:

$$V_e = \frac{V_p}{V_m}$$

$$T_e = \frac{T_p}{T_m}$$

$$a_e = \frac{a_p}{a_m}$$

Donde:
V_e= escala de velocidades,
Te= escala de tiempos, y
ae= escala de aceleraciones

Al tomar mediciones de velocidades, tiempos y aceleraciones en cualquier punto del modelo y multiplicarlas por la correspondiente escala se puede obtener valores de velocidades, tiempos y aceleraciones en puntos homólogos del prototipo.

Número de Froude: Su nombre se debe al Ingeniero británico William Froude (1810-1879), quien estableció que el número de Froude (Fr) es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido, esto es:

$$Fr = \frac{V}{(g * L)^{1/2}}$$

Siendo este parámetro muy significativo para los flujos que están representados por superficie libre.

Al elevar al cuadrado este parámetro se obtiene que:

$$Fr^2 = \frac{V^2}{g * L} = \frac{\delta}{\delta} x \frac{V^2}{g * L} x \frac{L^2}{L^2} = \frac{\delta * V^2 * L^2}{\delta * g * L^3}$$

$$\delta * V^2 * L^2 \approx \text{Presión dinámica} * \text{Área} \approx \text{Fuerza de inercia}$$

$$\delta * g * L^3 \approx \text{Peso específico} * \text{Área} \approx \text{Fuerza de peso}$$

Entonces el número de Froude es el cociente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales.

$$Fr = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas Gravitacionales}}$$

El modelo en estudio será entonces un modelo hidráulico de fondo fijo con la similitud de Froude.

Entonces es necesario analizar más profundamente los principios y condiciones teóricas de la similitud de Froude para un mejor conocimiento, realización y obtención de los objetivos planteados en este tipo de investigación.

Similitud particular de Froude

Cuando el flujo en modelo y en prototipo estan gobernados por las fuerzas de inercia y gravitacionales entonces será representado por la similitud particular de Froude.

Escala: Es "la relación que existe entre una magnitud del prototipo y su correspondiente en modelo" [1], se la representa con el símbolo de la variable en estudio, a la cual se añade el subíndice e y se la encuentra expresada por:

$$e = \frac{\text{magnitud prototipo}}{\text{magnitud modelo}} = \frac{e_p}{e_m}$$

1 José A. Masa, Modelos hidráulicos, México, publicación Nº. 169, UNAM, 1969.

La escala de fuerzas, partiendo de la ecuación básica, entre el prototipo y modelo será:

$$F = \gamma * \forall$$

$$e_f = \frac{F_p}{F_m} = \frac{\gamma_p * \forall_p}{\gamma_m * \forall_m} = e_T * {e_L}^3 \qquad (1.1)$$

Como la escala de fuerzas debe cumplir con la segunda ley de Newton, entonces:

$$e_f = e_M * e_a$$

$$e_f = e_M * e_L * {e_T}^{-2} \qquad (1.2)$$

Si igualamos las expresiones (1.1) y (1.2)

$$e_T * {e_L}^3 = e_M * e_L * {e_T}^{-2}$$

$$e_T * {e_L}^3 = e_M * e_v * {e_T}^{-1} \qquad (1.3)$$

y como:

$$e_T = \frac{\gamma_p}{\gamma_m} = \frac{\delta_p * g_p}{\delta_m * g_m} = e_\delta * e_g$$

$$e_T = e_\delta * e_g \qquad (1.4)$$

Y

$$e_M = \frac{M_p}{M_m} = \frac{\delta_p * \forall_p}{\delta_m * \forall_m} = e_\delta * {e_L}^3$$

$$e_M = e_\delta * {e_L}^3 \qquad (1.5)$$

Reemplazando la ecuación (1.4) y (1.5) en (1.3) obtendremos:

$$e_\delta * e_g * {e_L}^3 = e_\delta * {e_L}^3 * e_v * {e_T}^{-1}$$

$$e_g * {e_L}^3 = {e_L}^3 * e_v * {e_T}^{-1}$$

$$e_g * {e_L}^3 = {e_L}^2 * {e_v}^2$$

$$e_g * e_L = {e_v}^2$$

$$\frac{{e_v}^2}{e_g * e_L} = 1$$

$$\frac{e_v}{(e_g * e_L)^{1/2}} = 1 \qquad (1.6)$$

Como:

$$e_{Fr} = \frac{Fr_p}{Fr_m} = \frac{(V/(g*L)^{1/2})_p}{(V/(g*L)^{1/2})_m} = \frac{e_v}{(e_g * e_L)^{1/2}} \qquad (1.7)$$

Igualando (1.6) y (1.7) tenemos que:

$$e_{Fr} = 1$$

La escala de la aceleración de la gravedad es 1 porque la gravedad será la misma tanto en el prototipo como en el modelo y entonces tenemos que:

$$\frac{e_v}{(e_g * e_L)^{1/2}} = 1 = e_a$$

$$\frac{e_v}{{e_L}^{1/2}} = 1$$

$$e_v = {e_L}^{1/2} \qquad (1.8)$$

Siendo e_v la escala de velocidades

La escala de caudales viene dada por:

$$e_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{(V*A)_p}{(V*A)_m} = e_v * {e_L}^2 = {e_L}^{1/2} * {e_L}^2$$

$$e_Q = {e_L}^{5/2} \qquad (1.9)$$

y para el tiempo tenemos que la escala es:

$$e_T = \frac{T_p}{T_m} = \frac{(L/V)_p}{(L/V)_m} = \frac{e_L}{e_V} = e_L * {e_L}^{-1/2}$$

$$e_T = {e_L}^{1/2} \qquad (1.10)$$

La escala de fuerzas estará dada por:

$$e_F = \frac{F_p}{F_m} = \frac{\gamma_p * \forall_p}{\gamma_m * \forall_m} = \frac{(\delta * g * \forall)_p}{(\delta * g * \forall)_m} = e_\delta * e_g * {e_L}^3$$

Como se utilizara el mismo líquido en el prototipo y en el modelo entonces

$$e_F = {e_L}^3 \qquad (1.11)$$

la escala de potencias estará dada por:

$$e_N = \frac{N_p}{N_m} = \frac{(F * V)_p}{(F * V)_m} = \frac{(\gamma * \forall * V)_p}{(\gamma * \forall * V)_m}$$

$$e_N = \frac{(\gamma * \forall * Q/A)_p}{(\gamma * \forall * Q/A)_m} = \frac{(\gamma * H * Q)_p}{(\gamma * H * Q)_m}$$

$$e_N = e_L * e_Q$$

$$e_N = e_L * {e_L}^{5/2}$$

$$e_N = {e_L}^{7/2} \qquad (1.12)$$

Escala de trabajo (energía):

$$e_E = \frac{E_p}{E_m} = \frac{(N * T)_p}{(N * T)_m} = e_N * e_T = {e_L}^{7/2} * {e_L}^{1/2}$$

$$e_E = {e_L}^4 \qquad (1.13)$$

Para la escala de rugosidad se supone que el modelo será de fondo fijo, sin distorsión y con rozamiento y entonces se parte de las siguientes expresiones:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2} \qquad \text{(Manning)}$$

$$V = Km * R^{2/3} * I^{1/2} \qquad \text{(Strickler)}$$

De donde tenemos que:

n = coeficiente de rugosidad de Manning
Km = coeficiente de resistencia de Strickler, además se considera los siguientes coeficientes de resistencia al aplicar la formula a toda la sección:

Kw = coeficiente de resistencia debido a la rugosidad de las paredes
Ks = coeficiente de resistencia debido a la rugosidad del fondo
Kr = coeficiente de resistencia proveniente de la resistencia al flujo de las partículas constituyentes del fondo, el mismo que para el caso de turbulencia (el cauce se comporta como rugoso) es igual a:

$$K_r = \frac{C}{d^{1/6}}$$

Donde:
c = coeficiente de Chézy, siendo C=26m1/2/s para de=d90y C=21m1/2/s para de=d50 para material uniforme como no uniforme
d = diámetro característico de las partículas
R = radio hidráulico
I = pendiente o gradiente de energía
Dados los condicionantes impuestos se tiene que:

$$K_m = K_w = K_s = K_r$$

Igualando los condicionamientos de Manning y Strickler se tiene que:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2} = Kr * R^{2/3} * I^{1/2}$$

$$e_V = \frac{V_p}{V_m} = \frac{Kr_p}{Kr_m} * \frac{R_p{}^{2/3}}{R_m{}^{2/3}} * \frac{I_p{}^{1/2}}{I_m{}^{1/2}}$$

El gradiente de energía del prototipo y el modelo deben ser iguales con lo que:

$$\frac{I_p{}^{1/2}}{I_m{}^{1/2}} = 1$$

entonces:

$$e_V = \frac{Kr_p}{Kr_m} * e_L{}^{2/3}$$

y si asumimos d50, tenemos que:

$$Kr_p = \frac{21}{d_{50p}{}^{1/6}}$$

$$Kr_m = \frac{21}{d_{50m}{}^{1/6}}$$

Y

$$e_K = \frac{Kr_p}{Kr_m} = \left(\frac{d_{50p}}{d_{50m}}\right)^{1/6} = \frac{1}{e_L{}^{1/6}}$$

$$K = \frac{1}{n}$$

$$e_K = \frac{1}{e_n}$$

$$e_n = e_L{}^{1/6} \qquad (1.14)$$

si reemplazamos esta última ecuación a continuación se tendrá que:

$$e_V = \frac{n_m}{n_m} * \frac{R_p{}^{2/3}}{R_m{}^{2/3}} * \frac{I_p{}^{1/2}}{I_m{}^{1/2}} = \frac{1}{e_n} * e_L{}^{2/3}$$

$$e_V = \frac{1}{e_L{}^{1/6}} * e_L{}^{2/3}$$

$$e_V = e_L{}^{1/2}$$

Es decir, que, obtenemos la similitud de Froude.

Las magnitudes geométricas, cinemáticas y dinámicas para cuando se aplica la similitud de Froude, se presentan en la Tabla 1

TABLA 1. Magnitudes físicas para el método de Froude

Magnitudes geométricas	
Longitud	Lp=Lm (eL)
Área	Ap=Am $(eL)^2$
Volumen	¥p=¥m $(eL)^3$
Rugosidad	np=nm $(eL)^{1/6}$
Magnitudes cinemáticas	
Tiempo	Tp=Tm $(eL)^{1/2}$
Velocidad	Vp=Vm $(eL)^{1/2}$
Caudal	Qp=Qm $(eL)^{5/2}$
Aceleración	ap=am
Magnitudes dinámicas	
Numero de Reynolds	Rep=Rem $(eL)^{3/2}$
Masa	Mp=Mm $(eL)^3$
Fuerza	Fp=Fm $(eL)^3$
Energía	Ep=Em $(eL)^4$
Potencia	Np=Nm $(eL)^{7/2}$

Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Además, la densidad y la gravedad en el modelo y en el prototipo serán las mismas por lo que la relación entre éstas será 1.

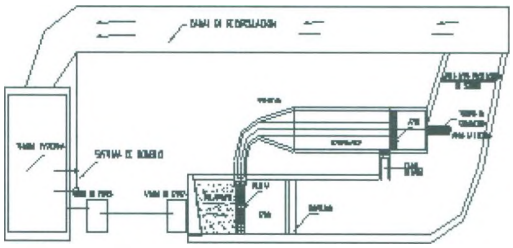
En los modelos hidráulicos que se presentan bajo la condición de similitud de Froude, las fuerzas preponderantes son las de gravedad, pero sin embargo, la viscosidad nunca desaparece, si se trata de conseguir la ley de similitud que estén presentes los dos efectos (viscosidad y gravedad), deben cumplirse que las escalas de tiempo de Froude y de Reynolds sean iguales. Igualando estas escalas se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\mu_p}{\mu_m} = e_L^{3/2}$$

Si se realiza la investigación con el mismo líquido (agua) en el prototipo y en el modelo la escala de longitud es uno, es decir que el único modelo exactamente igual al prototipo, es el prototipo mismo.

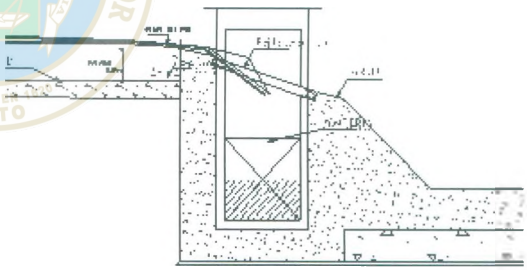
Presentación de resultados

Gráfico 1. Esquema del modelo hidráulico



Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L

Gráfico 2. Corte del modelo hidráulico



Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la investigación variando el ángulo de inclinación de la rejilla con el objeto de determinar con cuál de las tres variantes (i=10%, i=20%, i=30%), se optimiza la captación del agua, para el sistema de riego Tabacundo.

Primera variante

Inclinación del 10% ($\alpha = 5.71°$):
La primera prueba se realizó con una inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal del 10%,

Segunda variante

Inclinación del 20% ($\alpha = 11.31°$):
La segunda prueba se realizó con una inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal del 20%.

Tabla 1. Cálculo de eficiencia de la rejilla con una inclinación del 10%

Caudales			Diferencia de caudales	Eficiencia
Caudales	Aguas arriba rejilla (l/s)	Aguas abajo rejilla (l/s)	(l/s)	%
Mínimo	2.81	2.80	0.01	99.65
Diseño 85%	6.88	6.43	0.44	93.53
Medio	12.19	10.15	2.04	83.24
Diseño	46.88	27.90	18.97	59.53
Máximo	54.06	28.27	25.79	52.29

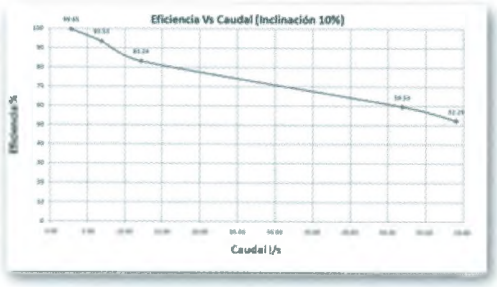
Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Tabla 2. Cálculo de eficiencia de la rejilla con una inclinación del 20%

Caudales			Diferencia de caudales	Eficiencia
Caudales	Aguas arriba rejilla (l/s)	Aguas abajo rejilla (l/s)	(l/s)	%
Mínimo	2.81	2.81	0.01	99.76
Diseño 85%	6.88	6.48	0.39	94.26
Medio	12.19	10.33	1.86	84.77
Diseño	46.88	37.35	9.53	79.68
Máximo	54.06	41.61	12.45	76.97

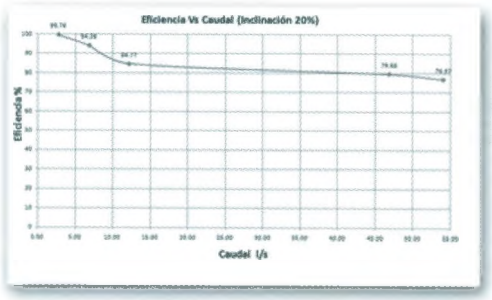
Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Figura 1. Curva de Eficiencia vs. Caudal



Representación de la eficiencia con el caudal captado con una inclinación de la rejilla del 10 %.

Figura 2. Curva de Eficiencia vs. Caudal



Representación de la eficiencia con el caudal captado con una inclinación de la rejilla del 20 %.

Tercera variante

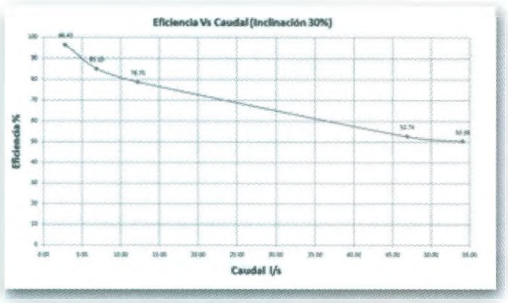
Inclinación del 30% ($\alpha = 16.70°$):
La tercera prueba se realizó con una inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal del 30%,

Tabla 3. Cálculo de eficiencia de la rejilla con una inclinación del 30%

Caudales			Diferencia de caudales	Eficiencia
Caudales	Aguas arriba rejilla (l/s)	Aguas abajo rejilla (l/s)	(l/s)	%
Mínimo	2.81	2.71	0.10	96.43
Diseño 85%	6.88	5.85	1.02	85.10
Medio	12.19	9.59	2.60	78.70
Diseño	46.88	24.72	22.16	52.74
Máximo	54.06	27.24	26.83	50.38

Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Figura 3. Curva de Eficiencia vs. Caudal.



Representación de la eficiencia con el caudal captado con una inclinación de la rejilla del 30 %.

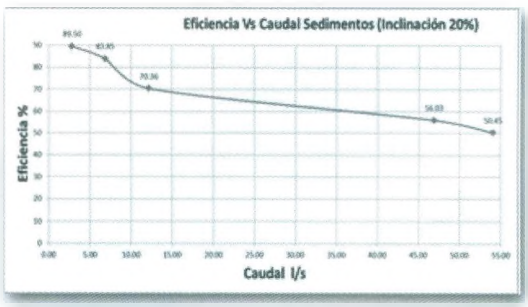
Se realizaron de manera cualitativa corridas en modelo con sedimentos, durante 10 minutos, aproximadamente, los resultados son:

Tabla 4. Cálculo de la Eficiencia de la rejilla con sedimentos con una inclinación del 20%.

Caudales			Diferencia de caudales	Eficiencia
Caudales	Aguas arriba rejilla (l/s)	Aguas abajo rejilla (l/s)	(l/s)	%
Mínimo	2.81	2.52	0.30	89.50
Diseño 85%	6.88	5.76	1.11	83.85
Medio	12.19	8.58	3.61	70.36
Diseño	46.88	26.26	20.61	56.03
Máximo	54.06	27.27	26.79	50.45

Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Figura 4. Curva de Eficiencia vs. Caudal.



Representación de la eficiencia con el caudal captado con una inclinación de la rejilla del 20 % y con sedimentos.

Análisis de resultados

La investigación tuvo por objeto fundamental encontrar la mayor eficiencia de la rejilla en función del ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

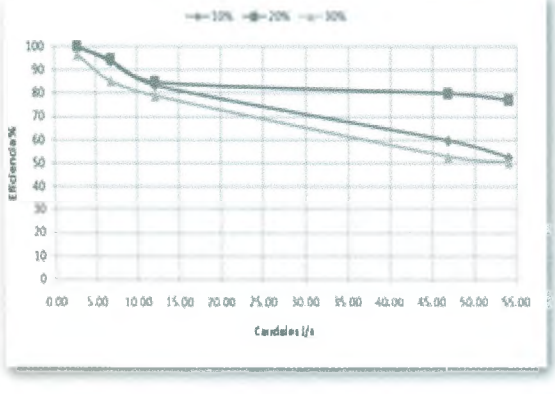
A continuación en la tabla 5 se presenta la comparación de las 3 alternativas

Tabla 5. Comparación de alternativas

CAUDALES Q (l/s)		Eficiencia %		
		10%	20%	30%
Mínimo	2.81	99.65	99.76	96.43
Diseño 85%	6.88	93.53	94.26	85.10
Medio	12.19	83.24	84.77	78.70
Diseño	46.88	59.53	79.68	52.74
Máximo	54.06	52.29	76.97	50.38

Fuente: Estudio realizado por Narváez M. y Pérez L.

Figura 5. Curva de eficiencia de la rejilla 10%, 20%, 30%



De los resultados obtenidos se puede observar que: para caudales pequeños, como es, el caudal mínimo, el ángulo de inclinación de la rejilla no tiene mucha incidencia ya que el agua ingresa en su totalidad a la galería de captación, esto se debe a que la carga de agua sobre la rejilla es pequeña y por lo tanto la velocidad del flujo a la entrada de la rejilla también lo es por lo que el agua ingresa con facilidad a la captación.

Para caudales mayores, como son el de diseño y el máximo, la inclinación de la rejilla incide por lo que se tiene que:

Inclinación del 10%

Para el caudal de diseño Q-diseño = 46.88 l/s se tiene una eficiencia de la rejilla del 59.53%, es decir que se capta Q-captación=27.90 l/s.

Para el caudal máximo Q-máximo = 54.06 l/s se tiene una eficiencia de la rejilla del 52.29%, es decir que ésta capta Q-captación=28.27 l/s.

Inclinación del 20%

Para el caudal de diseño Q-diseño = 46.88 l/s se tiene una eficiencia de la rejilla de 79.63%, es decir que ésta capta Q-captación=37.35 l/s.

Para el caudal máximo Q-máximo = 54.06 l/s se tiene una eficiencia de la re-

jilla de 76.97%, es decir que ésta capta Q-captación=41.61 l/s.

Inclinación del 30%

Para el caudal de diseño Q-diseño = 46.88 l/s se tiene una eficiencia de la rejilla de 52.74% es decir que esta capta Q-captación=24.72 l/s.

Para el caudal máximo Q-máximo = 54.06 l/s se tiene una eficiencia de la rejilla de 50.38%, es decir que ésta capta Q-captación=27.24 l/s.

La reducción de la eficiencia de la rejilla se notó en esta investigación, principalmente para grandes caudales, puesto que la velocidad del flujo aumenta, en consecuencia de esto, el agua vierte rápidamente sobre la rejilla; entonces si aumentamos el largo de la rejilla, se aumentará su eficiencia.

Se observa también que hubo un decremento significativo en la eficiencia de la rejilla entre la primera y tercera variante, por la inclinación de ésta: a mayor inclinación, menor eficiencia.

A mayor caudal y poca inclinación, el agua ingresa, en menor cantidad a la captación, debido a que por su propia energía tiende a seguir su curso por encima de la rejilla.

A mayor caudal y gran inclinación, el flujo experimenta un incremento de velocidad por lo que vierte sobre la rejilla.

Con la inclinación del 20% la rejilla tiene una buena eficiencia, por lo que ésta sería la óptima inclinación de la rejilla de una toma de fondo.

Cuando añadimos sedimentos, la eficiencia baja notablemente, lo que obliga a hacer una limpieza permanente de la rejilla.

Conclusiones, recomendaciones, y trabajo futuro

Se obtuvo la mayor eficiencia de la rejilla para el caudal de diseño con la inclinación del 20%.

En el dimensionamiento de la rejilla, a mayor inclinación se necesita un mayor ancho de rejilla ya que se produce un decremento en el coeficiente de contracción y en este caso para una inclinación del 30%, el ancho de rejilla necesaria para captar el caudal de diseño Q=1.5m3/s sería B = 4.75m. Se debería también analizar el largo de la rejilla.

Por el contrario, si la inclinación de la rejilla es pequeña, también disminuye la longitud de desarrollo de la misma; para el caso de una inclinación del 10%, la longitud de rejilla necesaria para captar

el caudal de diseño Q=1.5m3/s, sería B = 2.84m.

Comparando el diseño teórico con los valores experimentales obtenidos en el modelo, se puede expresar que la mejor alternativa es la inclinación del 20%, por tener mejor eficiencia para caudales pequeños o grandes e incluso para el de crecida que en este caso interesa al proyecto, puesto que lo que se busca es captar el mayor caudal del río Arturo hacia la laguna San Marcos.

Recomendamos hacer un monitoreo permanente del funcionamiento de la toma por el tema de la obstrucción de la rejilla por los sedimentos, hojas, palos y basura que el río arrastra.

A futuro se debería investigar en este modelo construido, el fenómeno del transporte de sedimentos, el tipo de perfil del barrote de la rejilla, la longitud de la rejilla (distancia en sentido de la dirección del flujo), estudiar la cámara de sedimentos y su evacuación, la galería de captación y el canal de ingreso al desarenador.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

Bibliografía

KROCHIN S. (2010). *Diseño Hidráulico.* Tercera Edición. Universidad Técnica Particular de Loja.

VERGARA M. (1993) *Técnicas de modelación en Hidráulica.* México D.F., Alfaomega s.a.

CORCHO R. y DUQUE S. (2009). *Acueductos teoría y diseño.* Segunda reimpresión. Universidad de Medellín.

SOTELO G. (1997). *Hidráulica General.* Vol I, México, Limusa.

DOMÍNGUEZ F. (1999). Editorial Universitaria S.A. Sexta edición. Santiago de Chile.

ROCHA F. (1978) *Hidráulica de Tuberías y Canales.* 1era edición. Universidad de ingeniería. Perú. (1998)

HANSEN V. *Diseño de Bocatomas,* Universidad Nacional de Ingeniería, Departamento académico de Hidráulica e Hidrología, Perú.

VEN TE CHOW, (1982) *Hidráulica de Canales Abiertos*, Editorial Diana, 1era edición, México Junio.

HIDALGO M. *Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas,* Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Hidráulica.

LENCASTRE A., (2001). *Manual de hidráulica General,* Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España.

BOLINAGA J.J., (1999). *Proyectos de Ingeniería Hidráulica,* ed. Fundación polar venezuela.

NOVAK P., Moffat A.I.B.,Nalluric, (2001). *Estructuras Hidráulicas,* ed. Mc Graw-Hill

HENDERSON F.M., (2001). *Open Channel Flow, Mac Hillan,* Co., Prentice Hall, New york.

Bureau of Reclamation, (2007). *Diseño de Presas Pequeñas.*

Internet

http://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2010/07/saltos-de-agua-y-presas-de-embalses.html

http://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2010/07/saltos-de-agua-y-presas-de-embalses.html

ww.wordreference.com

http://www.monografias.com

http://escuelas.fi.uba.ar