

# CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS HIDRÁULICOS EN EL CANAL "SANTA CLARA"-VIRÚ

## CHARACTERIZATION OF HYDRAULIC PHENOMENA IN THE CHANNEL "SANTA CLARA"-VIRU

### ÁREA

Ingeniería Hidráulica e Irrigaciones

### AUTOR

Ricardo Andrés Narváez Aranda<sup>1</sup>



### RESUMEN

**Introducción:** En este trabajo se caracteriza la formación de fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal "Santa Clara"-Virú, debido a su arquitectura hidráulica. Se trata de un canal lateral de segundo orden que deriva del "canal madre" del Proyecto Chavimochic, beneficiará un área de riego 4,866.86 ha. Los fenómenos hidráulicos son resultado del cambio de sección, pendiente y trazo. Se realizó una evaluación in situ y verificación del diseño mediante una simulación hidráulica, determinándose que los fenómenos hidráulicos están ligados a la arquitectura hidráulica.

**Objetivo:** Caracterizar la formación fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal "Santa Clara"-Virú, debido a su arquitectura hidráulica.

**Supuesto:** La formación de los fenómenos hidráulicos en el tramo del canal "Santa Clara" se debe a las dimensiones de la arquitectura hidráulica.

**Material y métodos:** Los fenómenos hidráulicos son el resultado del cambio de características hidráulicas al incorporar obras de arte para bajar a un nivel topográfico. El estudio considero una evaluación in situ de la formación de fenómenos hidráulicos. Se verifico el diseño hidráulico aplicando criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR). Se aplicó el Modelo Matemático Hec-Ras para el cálculo Régimen Permanente.

**Resultados:** El tipo de flujo turbulento no controlado está directamente ligada a la arquitectura hidráulica, cuyas estructuras para mitigar el resalto hidráulico no cumplen su función, a pesar que matemáticamente cumple los parámetros de diseño, obligando a reducir el caudal de 3 a 1.6 m<sup>3</sup>/s, para evitar desbordamientos lo que a su vez perjudica a los agricultores.

**Conclusiones:** Los diseños individuales de una obra hidráulica deben ser analizados en conjunto porque los criterios de diseño se basa en fórmulas empíricas para un análisis bidimensional, donde la experiencia profesional es fundamental.

**Palabras clave:** Fenómeno hidráulico. arquitectura hidráulica. simulación hidráulica. análisis bidimensional. Chavimochic.

<sup>1</sup> Ms. en Estructuras Hidráulicas. Docente Asociado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería - UPAO.



## ABSTRACT

**Introduction:** In this work it is we characterized the formation of hydraulic phenomena in the first section of the canal "Santa Clara"-Viru, because of their hydraulic architecture. This is a second order lateral canal derived from the "mother channel" Project Chavimochic, benefit irrigation area 4,866.86 ha. Hydraulic phenomena are the result of the change of section, slope and stroke. We conducted a site evaluation and design verification using a hydraulic simulation, determining the hydraulic phenomena are related to hydraulic architecture.

**Objective:** To characterization of the formation hydraulic phenomena in the first section of the canal "Santa Clara"-Viru, because of its hydraulic architecture.

**Material and methods:** Hydraulic phenomena are the result of changing hydraulic characteristics by incorporating artwork for a lower topographic level. The study consider a site evaluation of the formation of hydraulic phenomena. Hydraulic design was verified using design criteria U.S. Bureau of Reclamation (USBR). We applied the mathematical model Hec-Ras to calculate steady state. Deshacer cambios

**Results:** The type of uncontrolled turbulent flow observed is directly related to hydraulic architecture whose structures to mitigate the hydraulic jump, not doing its job even though mathematically satisfies the design parameters, forcing to reduce the rate of 3 to 1.6 m<sup>3</sup>/s, to avoid overflows which in turn impairs the farmers.

**Conclusions:** Individual designs of hydraulic projects should be analyzed together because the design criteria is based on empirical formulas for two-dimensional analysis, where professional experience is essential.

**Key words:** Hydraulic phenomenon. hydraulic architecture. hydraulic simulation. two-dimensional analysis. **Chavimochic**

## INTRODUCCIÓN

El canal "Santa Clara" es un canal lateral de segundo orden que deriva del "canal madre" del proyecto Chavimochic; forma parte del proyecto "Construcción de Canales Integradores Valle Virú, que contempla la construcción y/o mejoramiento de los Canales Integradores Margen Derecha (canal Chanquín) y Margen Izquierda (canal "Santa Clara") respectivamente, desde el Canal de Descarga al río Virú, Proviene de la Cámara de carga del Proyecto Chavimochic (Figura 1). Considerado estos canales de mucha importancia para el valle de Virú, porque permitirán el mejoramiento del riego en 9242.30 ha, beneficiando a 1836 usuarios directos, ubicadas en la parte media y baja del Valle Virú. (Expediente Técnico del Proyecto Construcción de Canales Integradores, Valle Virú, 2009).



Figura 1. Ubicación Política del canal Santa Clara

El revestimiento del canal "Santa Clara" comprende 17.043 Km en 13 tramos alternando la conducción en canal trapezoidal y tubería de políéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV). El estudio realizado comprende el primer tramo desde la progresiva 00+000 a 01+800, canal de sección trapezoidal de base 1.00 m, 1.05m de altura y talud 1:1.25, con capacidad de conducción de 3.00 m<sup>3</sup>/s y cubrirá un área de riego correspondiente a 4 866.86 ha.

El problema en el canal se inicio cuando se procedió a soltar el agua de manera progresiva hasta llegar a un caudal de 2.50 m<sup>3</sup>/s, llegando a observarse que en ciertos puntos el agua rebalsaba la altura de la sección trapezoidal, obligando a reducir el caudal para evitar posibles desbordamientos. Actualmente solo está conduciendo 1.6 m<sup>3</sup>/s

perjudicando a los agricultores al no poder captar lateralmente el agua necesaria, por motivos de que el nivel de fondo del canal está por debajo del nivel de las tomas laterales y el tirante es menor (0.49 m) al diseñado inicialmente (0.80 m).

Con la reducción del caudal en este primer tramo, se observa un tránsito muy desordenado, violento, con turbulencias y formación de oleajes propios de ríos, canales de navegación y no de irrigación; al igual se observa que sus resaltos hidráulicos son bien marcados en sus caídas verticales al final de la transición.

La formación de los fenómenos hidráulicos por cambio de pendiente y sección transversal, no sería nada fuera de lo común si al pasar el caudal por las estructuras hidráulicas el flujo fuese controlado por sus disipadores de energía y entregando a los tramos rectos del canal por medio de sus transiciones un flujo turbulento permanentemente uniforme, pero no es así, y por la importancia que tienen este primer tramo de canal para el proyecto en conjunto es necesario evaluar la magnitud de los oleajes y resaltos hidráulicos no controlados del canal.

Con este trabajo se pretende evaluar la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en régimen permanente y determinar las variables que estarían produciendo estos tramos violentos, oleados y con turbulencia, para lo cual es necesario la evaluación in situ, verificación del diseño y la aplicación del modelo matemático Hec-Ras (River Analysis System) como herramienta para realizar la simulación hidráulica, el cual proporciona resultados numéricos y gráficos con los que se puede evaluar las variables hidráulicas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha considerado un proceso a nivel de ingeniería con el cual se puede analizar la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, realizándose trabajos de campo y gabinete, como se explica a continuación:

### Descripción de la arquitectura hidráulica del canal santa clara

El canal Santa Clara se inicia desde una toma lateral del "canal madre" del proyecto Chavimochic que proviene de la cámara de carga, como se muestra en la (Figura 2)



Figura 2. Primer tramo del canal "Santa Clara".

Según el trazo y topografía existente del primer tramo construido del canal "Santa Clara", está conformado por las siguientes obras cuyas características de su arquitectura hidráulica se indican a continuación:

- Presenta una estructura de inicio desde la progresiva 0+000 a 0+057 de sección trapezoidal y rectangular con transiciones. Presenta una bifurcación con un tramo de canal proveniente de la proyección del canal "Santa Clara". (Figura 3).



Figura 3. Estructura de inicio.

- Continúa con el canal que tiene una sección trapezoidal típica de base 1.00 m, 1.05 m de altura y talud 1:1.25, con capacidad de conducción de 3.00 m<sup>3</sup>/s, desde la progresiva 00+000 a 01+800, el cual está conformado por nueve (9) tramos y dieciocho (18) curvas horizontales cuyo sentido y distancia entre PI (Tabla 1), observándose en los últimos tramos curvatura doble.

Tabla 1. Relación de curvas horizontales y distancias entre PI

PI Nº	SENTIDO	RADIO(m)	PROGRESIVA PI	DISTANCIA ENTRE PI
1	IZQ	13	11,38	0,00
2	DER	20	40,23	28,85
3	DER	50	99,63	59,40
4	DER	100	147,23	47,60
5	DER	50	257,05	109,82
6	IZQ	50	315,93	58,88
7	IZQ	50	385,40	69,47
8	DER	40	467,18	81,78
9	DER	50	633,95	166,77
10	IZQ	50	673,73	39,78
11	IZQ	50	832,07	158,34
12	DER	40	905,85	73,78
13	DER	350	1053,00	147,15
14	DER	80	1213,96	160,96
15	IZQ	20	1279,93	65,97
16	DER	30	1363,73	83,80
17	IZQ	50	1523,05	159,32
18	DER	50	1589,97	66,92

- En este primer tramo se han construido (8) Caídas verticales de sección rectangular, ubicadas en el canal para salvar desniveles topográficos, disipando adecuadamente la energía potencial, se han considerado desniveles de 0.50 m hasta 1.00 m. siendo ésta y su poza de disipación de sección rectangular, los cuales prevén la disipación de la energía a través de un resalto hidráulico, complementándose con las transiciones de entrada y salida de 2.50 m. Las dimensiones de la arquitectura hidráulica de caídas verticales se muestran en la (Tabla 2); y en la (Figura 5 y 6) se presentan las vistas de planta y corte típica de las caídas verticales.

- Para el riego de las parcelas se han construido (4) tomas laterales que se indican en la (Figura 7); su arquitectura hidráulica está formado por tramo de sección rectangular para conducir el agua a través de la berma del canal y la transición de salida, colocándose una compuerta en la entrada para controlar el flujo.

Tabla 2. Características de la arquitectura hidráulica de las caídas verticales

PROG.	Nº CAIDA	PROGRESIVAS		COTAS (msnm)					DIMENSIONES								Q (m <sup>3</sup> /s)	Longitud de obra		
		INICIO	FIN	A	B	C	D	E	b1	b2	H1	H2	LT1	LT2	B	Lp			h	P
0+180	1	177,5	190	85,87	84,99	85,19	86,92	86,24	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	7,50	0,68	0,20	3,00	12,5
0+410	2	407,5	420	84,74	83,82	84,02	85,79	85,07	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	7,50	0,72	0,20	3,00	12,5
0+600	3	597,5	611	83,66	82,29	82,64	84,96	83,69	2,60	1,00	1,30	1,05	2,50	2,50	2,90	8,50	1,02	0,35	3,00	13,5
0+760	4	757,5	770,5	82,34	81,02	81,32	83,39	82,37	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	8,00	1,02	0,30	3,00	13
1+000	5	997,5	1010	80,86	79,94	80,14	81,91	81,19	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	7,50	0,72	0,20	3,00	12,5
1+140	6	1137,5	1150	79,88	79,12	79,32	80,93	80,37	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	6,50	0,56	0,20	3,00	12,5
1+304	7	1301,5	1315	78,98	77,98	78,33	80,03	79,38	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	8,50	0,65	0,35	3,00	13,5
1+600	8	1597,5	1610,5	77,39	76,07	76,37	78,44	77,42	1,00	1,00	1,05	1,05	2,50	2,50	2,90	8,00	1,02	0,30	3,00	13

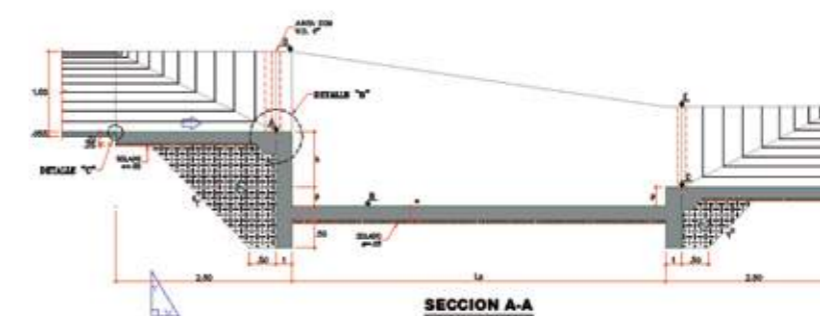


Figura 5. Vista de planta típica de la arquitectura hidráulica de la caída vertical

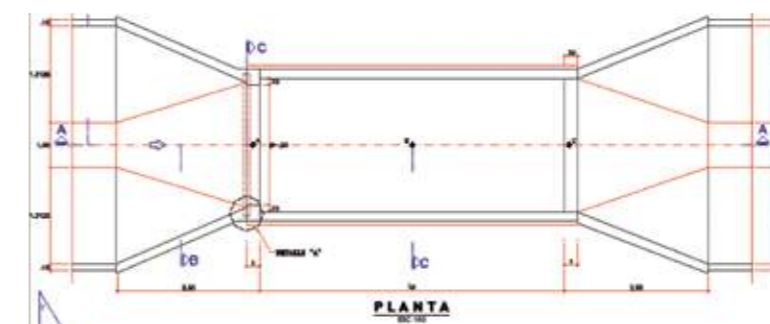


Figura 6. Vista de corte típica de la arquitectura hidráulica de la caída vertical



Figura 7. Toma 1 ubicado en la progresiva 0+564.30

- Se han construido 6 entregas de desagüe superficial (EDS), que servirán para evacuar los excesos superficiales del agua de riego. Su arquitectura hidráulica lo conforma una transición de entrada y conducto de entrega (Figura 8).



Figura 8. Entrega de desagüe superficial EDS-2, ubicado en la progresiva 0+198.

#### Evaluación in situ de los oleajes y fenómenos hidráulicos

El estudio de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos se inicia con la verificación in situ mediante un proceso de observación y medición de los diferentes parámetros hidráulicos y topográficos del canal los cuales se mostraron con los resultados de la simulación hidráulica.

Por la información de los pobladores, se procedió a soltar el agua de manera progresiva hasta los  $2.50 \text{ m}^3/\text{s}$ , llegando a observarse que en ciertos puntos el agua rebalsaba, obligando a reducir el caudal para evitar posibles desbordamientos. Actualmente el canal conduce un caudal menor a  $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un tirante de  $0.49 \text{ m}$ , medida tomada de la estación de aforo ubicada después de la estructura de inicio del canal, (Figura 9).



Figura 9. Estructura de aforo donde se observa que el tirante actual es de  $0.49 \text{ m}$ .

A pesar que el caudal de conducción es menor al caudal de diseño ( $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se observa que los flujos resultantes a lo largo del canal tienen un tránsito muy desordenado, tramos violentos, formación de oleajes y con turbulencia no controladas a la salida de las posas disipadoras, formándose fenómenos hidráulicos inesperados como los resaltos hidráulicos siendo muy marcados en las caídas verticales y al final de la estructura de inicio, propio de flujos rápidamente variado en los cuales muestra efectos del resalto y oleajes.

Esta evaluación se inició desde la derivación del canal principal del Proyecto Chavimochic como se muestra en la (figura 10), en la cual se observa un flujo turbulento permanentemente uniforme típico de un canal artificial



Figura 10. Toma lateral del canal madre del proyecto Chavimochic.

La formación de los fenómenos hidráulicos se muestra desde la estructura de inicio, con un flujo que se torna turbulento, desordenado, con mucha confluencia y pequeños resaltos y remansos en la superficie, debido a que su arquitectura hidráulica está formado por dos curvas horizontales sucesivas, cuyas progresivas de los PIs son  $0+011.38$  y  $0+040.23$  y con radios de  $13$  y  $20 \text{ m}$ , respectivamente; además, se observa que luego del cambio de sección de trapezoidal a rectangular inicia una pendiente fuerte de  $12\%$  con una transición muy corta ( $2.5 \text{ m}$ ), no dejando una longitud adecuada para desarrollar su flujo para la entrega del caudal de la sección rectangular a la sección trapezoidal nuevamente del canal en la progresiva  $0+057$ .



Figura 11. Inicio del Canal Santa Clara, observándose la formación de resaltos

En las Figuras 12 y 13, se muestra claramente la formación de oleajes y resaltos hidráulicos.



Figura 12. Formación de resalto en la transición de salida de la estructura de inicio.



Figura 13: Rastro del desborde al límite de la pared lateral a la salida de la transición e inicio del canal

Los oleajes son bien definidos antes y después de cada curva como se muestra en las Figuras 14 y 15.



Figura 14-15. Tramos de canal con flujo turbulento desordenado y formación de oleajes.

Por la topografía, se han ubicado caídas verticales, las cuales también presentan un flujo turbulento no controlado por las posas disipadoras, además la corta longitud de las transiciones no contribuye a controlar el flujo. Figura (16-19).



Figura 16-17. Caídas verticales.



Figura 18-19. Transiciones de salida

Debido a que no fue controlado el resalto hidráulico por los disipadores de energía, se entrega al canal un flujo turbulento desordenado formando oleajes con longitudes de onda bien marcadas en la paredes laterales del canal.

**Verificación del diseño hidráulico del canal y obras de arte**

La verificación de las características hidráulicas del canal se ha realizado mediante la interfaz numérica del Programa H-Canales para un caudal de 3m<sup>3</sup>/s y 1.6 m<sup>3</sup>/s respectivamente como se muestra en la Figura 20 y 21.

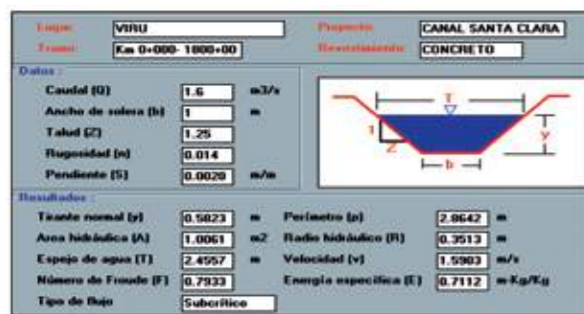


Figura 20. Aplicación de Hcanales para un caudal de 3m<sup>3</sup>/s.

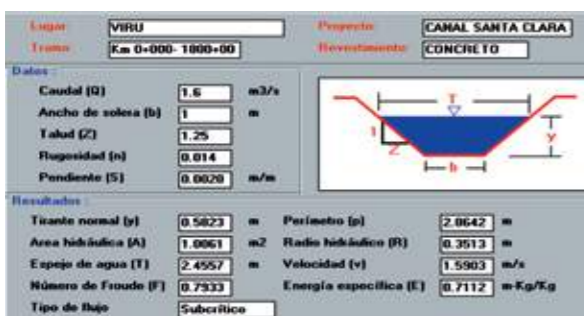


Figura 21. Aplicación de Hcanales para un caudal de 1.6 m<sup>3</sup>/s.

Se creó un nuevo archivo con su nombre y su respectivo Reach mediante el trazo con sus coordenadas UTM reales, incorporación de datos de flujo, etc. como se muestra en la figura 22-23.



Figura 22. Creación del proyecto canal santa clara en el programa Hec -Ras

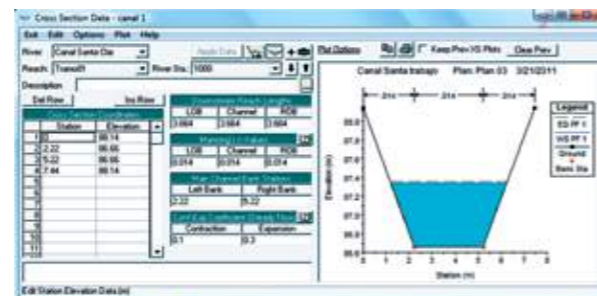


Figura 23. Sección Trapezoidal

**Resultados gráficos: perfil pseudo tridimensional**

Los resultados gráficos que se presentan en las figuras 24-25, para el perfil pseudo tridimensional de flujo - "profile nro. 02" para un caudal de 3 m<sup>3</sup>/seg.

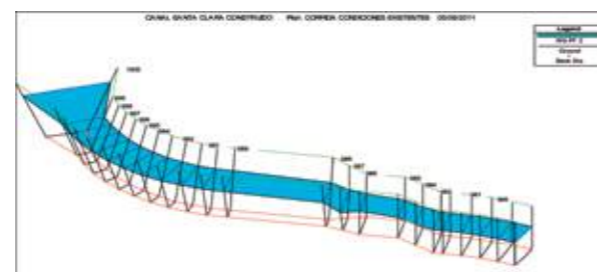


Figura 24. Vista Pseudo Tridimensional de la Estructura de Inicio

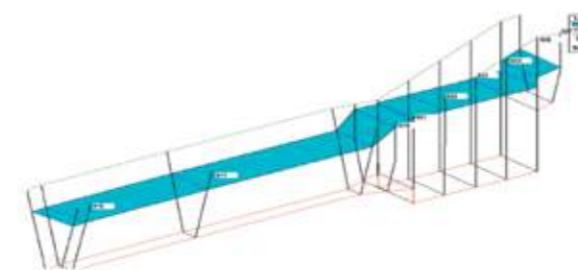


Figura 25. Vista pseudo tridimensional de la primera caída vertical

**PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El problema del flujo turbulento no controlado está directamente ligada a la arquitectura hidráulica que conforman el canal especialmente por las caídas verticales, cuyas variables más importantes son la profundidad, ancho y longitud de la poza disipadora construidas para mitigar el resalto hidráulico, observándose que no cumple esta función cuando al entregar el caudal al canal mediante sus transiciones presenta un flujo turbulento desordenado con salpicaduras casi al borde de las paredes laterales del canal para un caudal menor al diseñado.

Cabe resaltar que desde la estructura de inicio hasta la progresiva 1+800.00, se observó la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos con puntos críticos de elevación del nivel del agua a pesar que el caudal de conducción actual es menor a 1.6 m<sup>3</sup>/s, según los cálculos realizados. En el caso de someter el canal "Santa Clara" al caudal de diseño inicial de 3 m<sup>3</sup>/s es evidente que la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos se duplicarían causando en caso extremo pequeñas inundaciones a las parcelas y viviendas colindantes.

La decisión por parte de Junta de Usuarios del Valle de Virú, de reducir y mantener un caudal menor al diseñado, ha ocasionado problemas adicionales como se describe a continuación:

- Debido al poco caudal, manteniendo la misma sección inicial, se tiene una altura de agua (tirante) menor al calculado (0.80 m), ocasionando un problema a los pobladores al no poder derivar el caudal suficiente para el riego de sus parcelas, obligado a los agricultores a colocar una estructura metálica de sección trapezoidal a 0.50 m de la toma lateral, la cual hace las veces de un barraje para elevar el nivel del agua y poder derivar el caudal necesario, como la que se muestra en la Figura 26, ubicado después de la Toma-1 del Km 0+564.30.



Figura 26. Se muestra la toma lateral y la estructura metálica ubicada para elevar el nivel del agua.

- Esta solución práctica por los agricultores, han alterado los parámetros de la estación de aforo que se muestra en la (figura 27), ubicado en la progresiva 0+ 510



Figura 27. Estación de aforo.

- Por la colocacion de la estructura metalica, se ha observado que la formación de los fenómenos hidráulicos se han incrementado y que obliga a un más a no aumentar el caudal de conducción por el temor de un desbordamiento e inundación de las parcelas. La formación de este fenómeno hidráulico es muy diferente, observándose una succión interna para luego ser expulsada. (Figura 28 y 29).



Figura 28-29. Incremento de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos aguas bajo de la estructura metálica

Los problemas en el canal "Santa Clara" no termina aquí, sino que cuando cambia de sección trapezoidal e inicia la conducción cerrada mediante una cámara de carga se ha observado que se presenta otro fenómeno a un más crítico que es la formación del fenómeno de Remanso Hidráulico, es decir, el agua regresa a la sección trapezoidal.

Para verificar el diseño de la arquitectura hidráulica del canal se utilizó la interfaz numérica del programa H-Canales, para un caudal de 3 m<sup>3</sup>/s resultando valores similares al de diseño original: tirante de 0.80 m con un borde libre de 0.25 m haciendo una altura de canal de 1.05 m. Además se analizó para el caudal de 1.6 m<sup>3</sup>/s resultando un tirante hidráulico de 0.58 m con un borde libre de 0.47 m cuyos valores indican que el caudal observado in situ es menor al proporcionado por los miembros de la Junta de Usuarios en su estación de aforo (tirante hidráulico de 0.49 m).

La aplicación de los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) para determinar la arquitectura hidráulica de las caídas verticales, presentan valores similares a los del diseño original, como se muestra para la primera caída vertical ubicada en la progresiva 0+180: longitud de transición de entrada y salida 2.50 m, ancho de poza 2.90 m y longitud de poza 7.50 m. Estas dimensiones de la poza disipadora muestra el control del resalto hidráulico mediante la verificación de los niveles de energía (NE) en la poza disipadora (NEC=85.79) es menor en la transición de salida (NEE= 86.17).

Con estos resultados numéricos se está demostrado el control del salto hidráulico en la poza disipadora el cual en la realidad se ha observado que no es así, esto hace suponer que el diseño individual de una obra hidráulica debe de ser analizada en conjunto de las obras del proyecto considerando el trazo, longitudes de canal y el caudal de diseño; además, se sabe que los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) se basan en fórmulas empíricas para un análisis unidimensional y bidimensional de los parámetros hidráulicos, que no se ha tenido en cuenta para este proyecto a pesar de la experiencia profesional de sus proyectistas.

La deducción anterior se refleja también al aplicar el modelo matemático Hec-Ras, donde sus resultados hidráulicos para el perfil Pseudo Tridimensional presentan una variación mínima en sus parámetros hidráulicos con el diseño individual de la sección transversal y de las caídas verticales; observándose que para un caudal de 3 m<sup>3</sup>/s pre-

senta un control adecuado de los fenómenos hidráulicos especialmente del resalto hidráulico de las caídas verticales.

#### Alternativas de solución hidráulica

Por la importancia que tiene el canal Santa Clara, al beneficiar al 52.65% del área del proyecto. Es necesario mejorar la arquitectura hidráulica del canal construido para mitigar el efecto de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, para esto se propone las siguientes soluciones hidráulicas que necesariamente deben ser desarrolladas y evaluadas técnica y económicamente para su ejecución:

**Alternativa 01:** se propone cambiar la sección transversal trapezoidal a una sección mixta, mediante el levantando verticalmente 0.50 m de las paredes laterales para asegurar la conducción de los 3 m<sup>3</sup>/s, y con esto controlar el efecto de desbordamiento lateral al aumentarse la formación de los fenómenos hidráulicos que se van a presentar.

**Alternativa 02 :** se propone la colocación de obstáculos en la poza disipadora para mitigar el efecto de resalto hidráulico no controlado actualmente y el aumento de las paredes laterales de las caídas verticales hasta unos metros aguas abajo de la transición de salida eliminándose las estructuras metálicas colocadas hasta el momento.

**Alternativa 03:** esta propuesta considera las dos alternativas anteriores, el cambio de sección con el levantamiento vertical de las paredes laterales de todo el canal y colocación de obstáculos en la poza disipadora de las caídas inclinadas.

#### CONCLUSIONES

El canal "Santa Clara" en su primer tramo, tiene una sección trapezoidal típica con una longitud de 1800 m, diseñado para una conducción de 3.00 m<sup>3</sup>/s, que beneficiara un área de riego de 4 866.86 ha., el cual se inicia de una toma lateral del Canal Madre que proviene de la cámara de carga del proyecto Chavimochic, con una arquitectura hidráulica conformada por una estructura de inicio, 9 tramos de canal, 18 curvas horizontales, 8 caídas verticales, 4 tomas laterales y 6 entregas de desagüe superficial.

El problema que presenta este primer tramo es la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, observándose un flujo turbulento permanentemente desordenado con salpicaduras al borde de las paredes

laterales del canal obligando a reducir su caudal de conducción.

Este problema se entorna crítico porque al reducir el caudal de diseño, baja el tirante hidráulico y no se puede derivar el caudal suficiente para el riego de las parcelas, obligado a los agricultores a colocar una estructura metálica de sección trapezoidal a 0.50 m de la toma lateral, la cual hace las veces de un barraje para elevar el nivel del agua como la colocada en la Toma-1 de la progresiva 0+564.30. Con esta solución práctica se presenta dos problemas adicionales que son la alteración de los parámetros de la estación de aforo ubicado en la progresiva 0+510 y la amplificación de los fenómenos hidráulicos aguas abajo, observándose en el canal unas ondas oleaje de mayor longitud. El problema en el canal "Santa Clara" también se ha observado al inicio de la conducción cerrada en la cámara de carga con la formación del fenómeno de Remanso Hidráulico.

Se ha evaluado in situ que el flujo turbulento permanente no controlado que se presenta en el canal para un caudal menor al diseñado, está directamente ligada a la arquitectura hidráulica.

Se ha verificado el diseño de la arquitectura hidráulica del canal y de las caídas verticales mediante la aplicación de la interfaz numérica del Programa H-Canales y con los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation respectivamente, resultando valores similares al de diseño original. Según los resultados numéricos las dimensiones de la poza disipadora muestra el control del resalto hidráulico mediante la verificación de los niveles de energía, pero en el canal en estudio se ha observado que no es así, esto hace deducir que el diseño individual de una obra hidráulica debe ser analizada en conjunto de las obras del proyecto considerando el trazo, longitudes de tramos de canal y el caudal de diseño, donde la experiencia profesional del proyectista es muy importante para la decisión final de cualquier proyecto hidráulico. Además, se sabe que los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation se basan en fórmulas empíricas para un análisis unidimensional y bidimensional de los parámetros hidráulicos.

Se aplicó el modelo matemático Hec-Ras como herramienta para realizar una simulación hidráulica que

integre el conjunto de obras del tramo de canal en estudio y determinar los parámetros de la Arquitectura Hidráulica en Régimen Permanente para un caudal de 3 m<sup>3</sup>/s, obteniendo resultados hidráulicos con una variación mínima al diseño original para el perfil Pseudo Tridimensional, porque este modelo también realiza un análisis unidimensional y bidimensional.

Para solucionar la problemática, se propone tres alternativas de solución hidráulica para mitigar el efecto de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, estas soluciones prácticas básicamente se refieren al aumento de la altura de las paredes laterales y la colocación de obstáculos en la poza disipadora de las caídas verticales; las cuales necesariamente deben ser desarrolladas y evaluadas técnica y económicamente para su ejecución.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CHOW VEN TE. (1994).** Hidráulica de canales Abiertos. Santafé de Bogotá; McGraw Hill, 667p
- GARCÍA ELMER. (1987).** Manual de diseño hidráulico de canales y obras de arte primera Edición. Chiclayo 1987.
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER HEC - RAS. (2008).** Sistema de Análisis de Ríos, Hydraulic Referente Manual, U.S. Army Corps of Engineers; Davis. CA. USA.
- PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHE-VIRU. (2009).** Expediente técnico del proyecto construcción de canales integradores valle Virú.
- ROCHA ARTURO. (2005)** "Hidráulica de tuberías y canales". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- TRUEBA, SAMUEL. (1995).** Hidráulica. CECSA. Decimonovena Edición. México.
- VILLÓN BEJAR M. (1995).** Hidráulica de canales. departamento de ingeniería agrícola-instituto tecnológico de Costa Rica, Editorial Hozlo, Lima.