

## SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES

### *Determinación de la eficiencia en conducción de un tramo del Canal*

#### *Magistral Calabazar – Purio.*

### *Determination of the driving efficiency of a section of the Canal Magistral*

#### *Calabazar – Purio.*

**Ing. Yunaisy Roidriguez Correa<sup>1</sup>, Tec. José Cristóbal Pérez Álvarez<sup>2</sup>, Ing. Leonel Alejandro Torres Martínez<sup>3</sup>.**

1. Directora Adjunta en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara

Correo: [eah.da@vc.giat.cu](mailto:eah.da@vc.giat.cu) Teléfono: 42205615 Móvil: 52852806.

2. Especialista. en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara

Correo: [eah.esprh@vc.giat.cu](mailto:eah.esprh@vc.giat.cu) Teléfono: 42282207 Móvil: 599393189

3. Esp. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara.

Correo: [eah.csch@vc.giat.cu](mailto:eah.csch@vc.giat.cu) Teléfono: 42893813 Móvil: 56485988

### **RESUMEN**

La determinación de la eficiencia en conducción de las obras en canales es una prioridad para la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara por formar parte de uno de los indicadores del encargo estatal del INRH. El propósito fundamental de este estudio fue calcular la eficiencia y pérdidas en los tramos seleccionados del canal magistral Calabazar-Purio con el objetivo de verificar los volúmenes de agua que se pierden durante la conducción en los puntos de entrega a los usuarios. Se realizaron mediciones de aforo con molinetes hidrométricos, lo que permitió determinar los caudales a las entradas y salidas de los tramos para determinar las pérdidas. A partir de los cálculos efectuados se obtuvo una eficiencia en conducción en el tramo de un 89 % que se encuentra cercana a los parámetros de diseño en condiciones óptimas.

### **ABSTRACT**

*Determining the conduction efficiency of canal works is a priority for the Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara because it is one of the indicators of the INRH's state mandate. The main purpose of this study was to calculate the efficiency and losses in the selected sections of the Calabazar-Purio master canal in order to verify the volumes of water lost during conveyance at the points of delivery to users. Gauging measurements were made with hydrometric windlasses, which made it possible to determine the flow rates at the*



*inlets and outlets of the sections in order to determine losses. Based on the calculations made, a conduction efficiency of 89% was obtained in the section, which is close to the design parameters under optimum conditions.*

**Clave:** eficiencia; obras en canales; canales; pérdidas, aforo, caudales.

**Keywords:** *efficiency; canal works; canals; losses, gauging, flow rates..*

## **1. Introducción**

El desarrollo socio económico y sostenido del país requiere de la participación activa y comprometida, entre otros, de los profesionales encargados de la planificación, diseño, construcción y operación de la infraestructura hidráulica enfocados al campo de las obras hidráulicas.

En Cuba se da gran relevancia y apoyo a los cambios cuantitativos y cualitativos que requiere la gestión integral de los recursos hidráulicos a lo largo y ancho de la nación, como actividad imprescindible para la agricultura, la industria, la población y la sociedad en general. (1)

Cuba cuenta con la ventaja de tener un Esquema Hidráulico actualizado que se inició en lo que se denominó la Voluntad Hidráulica, proclamada por Fidel desde los años sesenta del pasado siglo al percatarse de la importancia de la actividad para el futuro desarrollo del país y que contó al principio con la colaboración de los especialistas del campo socialista y la creación del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en agosto de 1962 y que ha tenido un impacto positivo en el aprovechamiento de los recursos hidráulicos desde entonces. Más recientemente se instrumentó la Política Nacional del Agua que tiene entre sus prioridades fundamentales:(3)

1. El uso racional y productivo del agua disponible.
2. El uso eficiente de la infraestructura construida.
3. La gestión de riesgos asociados a la calidad del agua.
4. La gestión de riesgos asociados a eventos extremos del clima.

La elaboración y aprobación de la Ley 124 de las Aguas Terrestres y su Reglamento complementó jurídicamente la actividad.

Hoy las necesidades de agua, están por encima de las disponibilidades naturales, agravado por la ocurrencia de eventos extremos del clima como las sequías cada vez más frecuentes, influenciadas por los efectos del cambio climático a nivel global, junto con el uso ineficiente del agua de riego, que es típico del sistema de riego tradicional (por gravedad) que genera pérdidas sustanciales de agua en los procesos de conducción y distribución lo que unido al mal estado y deficiente operación de los canales incentiva las pérdidas de este valioso recurso

y produce mermas considerables en la productividad agrícola, lo cual incide negativamente en la rentabilidad y competitividad de la agricultura, también las crecidas de los ríos provocadas por huracanes o lluvias intensas, que a su vez originan grandes inundaciones con cuantiosos daños a la población y la economía lo que ha requerido enfrentar multisectorialmente los estudios de ambos fenómenos y las medidas para su mitigación.(4) En Villa Clara la mayoría de los canales de riego tienen entre treinta y cincuenta años de explotación con predominio de canales sin revestir que son los de más baja eficiencia y que conducen anualmente entre los sesenta y setenta porcientos de las entregas por canales. Para resolver esta situación y garantizar el incremento de la eficiencia en la conducción del agua de estos canales, es importante determinar y evaluar su estado actual para poder implementar las soluciones que se requieren. Hay que señalar que esta problemática impacta en la planificación del uso del agua que forma parte del Plan de la Economía al no precisarse objetivamente los volúmenes de pérdidas por este concepto que en la provincia están en el orden de los cien millones de metros cúbicos.

La falta de estudios respecto a la eficiencia en conducción del agua en los canales de riego en nuestro medio y el hecho que no se conozcan con exactitud las pérdidas y se optimice el uso del agua es cuestión que pretende resolver este trabajo en el caso del Canal Magistral Calabazar-Purio del Sistema Hidráulico Sagua la Chica en el municipio de Encrucijada.

Problemática que presenta el Canal: terraplén de arcilla, sin revestimiento, sobre una base arcillosa de baja permeabilidad con cuarenta y cinco años de explotación, sometido a sistemáticos trabajos de limpieza interior y mantenimiento con medios mecánicos (drag-lines) que han deformado significativamente sus parámetros de diseño ampliando el perímetro mojado expuesto a la infiltración y evaporación desde la superficie libre del agua con incidencia en las pérdidas por ambos conceptos.

### **Objeto de estudio**

La hidrometría.

### **Objetivo General**

Determinar la eficiencia en conducción de agua en el Canal Magistral Calabazar-Purio de la Estación 11+60 a la 50+94 a partir de la metodología de realización de aforos con molinetes hidrométricos utilizada por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Canales. Generalidades**

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. (5, 6)

#### 2.4 Antecedentes de estudios hidrométricos.

En el mundo se han hecho estudios hidrométricos a lo largo de los años y se le han dado continuidad en la actualidad para el mejoramiento eficiente del uso del recurso agua. Al utilizar metodologías similares para la realización de aforos, cálculo de eficiencia y pérdidas, diferentes países cuentan con excelentes resultados por ejemplo en Rusia, Alemania, China, México, Argentina, Guatemala, entre otros.

En Villa Clara las referencias conocidas de la hidrometría se asocian a los estudios de los caudales de los principales ríos para el diseño de las presas a partir de la segunda mitad del pasado siglo que incluyen los ríos Hanabanilla, Sagua la Chica, Sagua la Grande y Camajuaní, con posterioridad conjuntamente con la construcción de las presas se ejecutaron las obras de derivación, los canales y sistemas de riego extendiéndose hacia esas infraestructuras la hidrometría como actividad imprescindible para el manejo racional y eficiente del agua en el riego y los abastos.

El canal Calabazar – Purio cuenta con una red de veintiuna obras hidrométricas para el control de la explotación que abarcan todos los puntos de entrega de los usuarios.

<b>Canal Purio-Calabazar</b>	
<b>Tipo de obras</b>	<b>Cantidad</b>
Toberas	9
Calibraciones	6
Krasnov	3
Vertedores	3



*Tabla 2.1: Tipos de obras*

*Figura 2.1: Obras hidrométricas en el sistema de riego Calabazar-Purio.*

### 3. Procedimiento para la determinación de la eficiencia en el canal.

Las condiciones naturales de la cuenca hidrográfica Sagua la Chica, han sido alteradas por la mano del hombre, ya que sobre la misma se han construido obras hidráulicas entre las que se pueden mencionar: la presa Minerva, presa La Quinta, las Derivadoras Pavón y Camajuaní, y los canales magistrales Calabazar-Purio y Chiqui Gómez que concluyen en dos sistemas de riego que abarcan toda esta zona de la costa norte en ambas márgenes del

río en la llanura costera de la provincia Villa Clara. A continuación se presenta la secuencia para la obtención de la eficiencia.

### 3.1 Descripción de la zona de estudio.

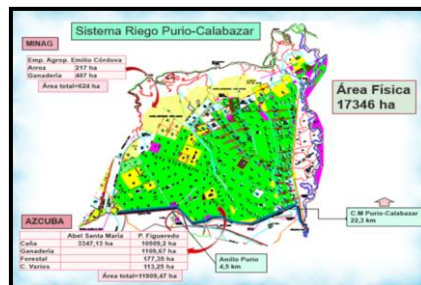
La zona de estudio es el sistema de riego Sagua La Chica en la costa norte de la provincia Villa Clara, que riega por gravedad 22 200 ha en total de caña, arroz, cultivos varios, ganadería, pastos y forrajes. Está compuesto por dos sistemas de riego, uno Chiqui Gómez con un área bajo riego de 8 400 ha y el otro Calabazar-Purio con un área bajo riego de 13 800 ha.



**Figura 3.1: Canal magistral Calabazar-Purio.**

#### Sistema de riego Calabazar-Purio

La fuente de suministro de agua es la parte superior del sistema desde la cuenca del río Sagua la Chica a través de la derivadora Camajuaní y Pavón con aguas de la presa Minerva y La Quinta por el canal Calabazar-Purio.



**Figura 32.2: Sistema de riego Calabazar-Purio.**

#### Datos Generales:

Longitud total: 22.255 km

Longitud canal muerto: 1.160 km

Fuente: Derivadora Pavón

Coordenada de la fuente: N – 307.5      E – 625.9      Hoja 4283 IV

Objetivo del canal: Riego de caña, arroz, abasto a ganadería, abasto a estación de alevinaje.

Accesos: El canal es accesible a:

Est. 11+60 (Derivadora Pavón) Carretera Circuito Norte Encrucijada- Vueltas

Est. 39+59 (P-1) Vial de explotación Carretera El Santo.

Est. 50+94 (P-2) Terraplén circuito Norte CAI. Emilio Córdova

Est. 68+68 (P-3) Terraplén "La Sierra" Sistema Calabazar.

Est. 124+16 (Sifón) Terraplén "La Palma" Sistema Purio

Est. 178+82 (P-8) Terraplén del CAI. Perucho Figueredo-Granadillo.

Est. 222+59 (P-10) Terraplén Calabazar-Piñón

Desde la Est. 39+59 (P-1) hasta la Est. 222+59 (P-10) existe un terraplén con mejoramiento, en buen estado paralelo al canal al pie del talud del hombro derecho.

Los beneficiarios y los datos hidráulicos del canal se muestran en los anexos 1 y 2 respectivamente.

### **3.2- Trabajo de campo.**

La medida del caudal de un río o canal puede realizarse por diferentes metodologías. Luego de hacer una observación del canal magistral Calabazar-Purio y conocer los niveles de operación del mismo, se considera adecuado para la determinación de las pérdidas y de la eficiencia de conducción el método de diferencias de caudales.

Aunque se da por conocido el método, la forma de medición de caudales será midiendo la velocidad y el área de la sección transversal del punto de control a aforar. Para la obtención de la velocidad se ha considerado conveniente el uso del molinete Flow Sens por el grado de exactitud que se puede alcanzar utilizándolo adecuadamente. El caudal se obtendrá como el producto de ambas magnitudes.

Para realizar el cálculo de eficiencia se tomará como referencia lo expuesto en epígrafe 1.4.

#### **Selección de los puntos de control.**(84)

La selección de los puntos de control (tabla 2.1) se realizó en un tramo determinado del canal, donde se tiene interés en hallar la eficiencia, en el cual se realizan entregas importantes a diferentes usuarios (tabla 2.2).

**Tabla 3.1: Puntos de control.**

<b>Estacionado</b>	<b>Identificación</b>	<b>Sección típica</b>	<b>Profundidad (y) (m)</b>	<b>Ancho superficial (T)(m)</b>
11+60	Obra de toma	Trapezoidal	1.24	18.73
17+70	Sección calibrada	Rectangular	1.66	6.0
39+59	P-1	Trapezoidal	0.82	10.56
50+94	P-2	Trapezoidal	0.90	8.06

**Tabla 2.2: Puntos de control. Entregas a los usuarios.**

Entregas	Identificación	Sección típica	Profundidad (y) (m)	Ancho superficial (T)(m)
Alevines	Canaleta 1	Rectangular	0.44	0.90
	Canaleta 2	Rectangular	0.38	0.80
	Canaleta 3	Trapezoidal	0.31	1.00
	Canaleta 4	Trapezoidal	0.21	1.36
Azcuba	P-1	Trapezoidal	0.28	7.00

El tramo de canal seleccionado para el cálculo de eficiencia cuenta con una longitud de  $L=3.94$  km y está dividido en 3 subtramos (tabla 2.3).

**Tabla 2.3: Subtramos del canal – Estaciones.**

Subtramos	Desde	Hasta
I	11+60	17+70
II	17+70	39+59
III	39+59	50+94

En la sección de los puntos de control se debe tener presente que:

1. Debe ser regular, estable, bien definida y en lo posible no debe ser susceptible a la erosión o sedimentación.
2. Se debe lograr que las velocidades del flujo sean perpendiculares a la sección transversal del canal.
3. Las velocidades deben ser suficientes para una buena utilización del correntómetro, el agua no debe estar estancada.
4. No debe estar ubicada cerca de estructura u obstáculos que produzcan remansos, para evitar el cambio de la distribución de velocidades del flujo.



**Figura 3.3: Puntos donde se hicieron los aforos.**

### **Verificación y acondicionamiento del canal**

Una vez seleccionados los puntos de control, se procedió a la verificación y acondicionamiento del canal para las personas encargadas de las mediciones.

- La verificación del canal demostró que la sección escogida es adecuada para el uso del molinete.

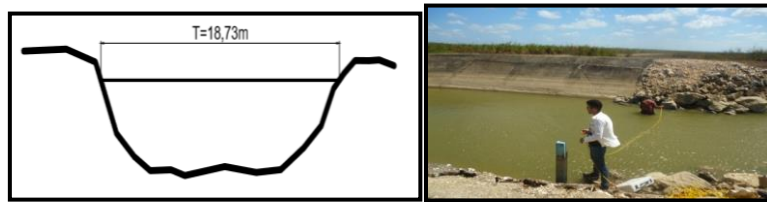
•Para el acondicionamiento se examinó el tramo elegido y donde se presentaron obstrucciones como piedras pesadas, maleza o vegetación en el fondo del canal, se removieron para que no se dificultara la medición. Todo esto se realizó antes de comenzar el aforo, para así no alterar las condiciones del flujo.

**Medición de velocidades.**

Para explicar el proceso de medición de velocidades se toma como ejemplo la primera sección escogida, ubicada en la estación 11+60 aguas debajo de la obra de tomas, ya que para las demás secciones se procede de la misma forma.

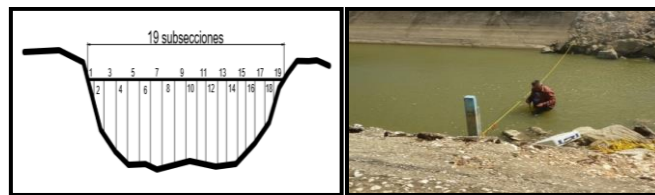
Para la medición de velocidades, las personas encargadas deben ser y estar debidamente entrenadas para realizar su trabajo y responder con eficiencia, o sea, deben dominar el método de aforos escogido para obtener resultados precisos.

1. Una vez que se escogió la sección se procedió a medir sus características geométricas, donde se obtuvo el ancho del canal  $T=18.73$  m, empleando una cinta graduada de acero.



**Figura 3.4: Medición del ancho del canal**

2. Según el tamaño y las características geométricas del canal (ancho superficial mojado  $T=18.73$  m), convenientemente se dividió la sección en 19 subsecciones. El número de las mismas varía de acuerdo al ancho de la sección y a la irregularidad del fondo.



**Figura 3.5: División del ancho del canal.**

Para realizar las subdivisiones de la sección, según la metodología de realización y cálculo de aforos, usada en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara, la distancia mínima entre verticales se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 2.4: Distancias mínimas entre verticales recomendadas**

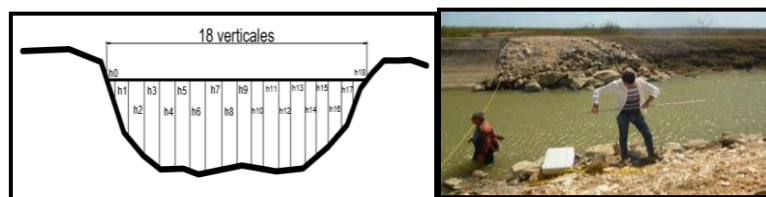
Ancho de la corriente (m)	Espaciamiento (m)
Hasta 1.20	0.20



1.20-3	0.30
3 -5	0.40
5-8	0.50
8-10	1.0
10-20	2.0
20-40	3.0
40 en adelante	4.0

En esta sección en particular, el aforo se realizó aguas abajo de la obra de toma por lo que, aunque el ancho superficial mojado es  $T=18.73$  m, se determinó que el espaciamiento entre las verticales fuera de 1 m y no de 2 m, ya que con esto se obtienen más verticales y por tanto más valores de velocidad, haciendo más preciso el cálculo del caudal, el cual se puede tomar como el gasto de salida.

3. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente en los límites de cada tramo del ancho superior del cauce se trazaron 18 verticales. La profundidad de cada vertical se midió con la varilla del molinete que está graduada, desde la superficie del agua hasta el fondo del canal. Las verticales se trazan en el mismo momento en que se van a medir las velocidades.



**Figura 3.6: Medición de la profundidad del canal**

4. Antes de comenzar el proceso de mediciones de velocidades con el molinete Flow Sens, se revisó el equipo para verificar sus condiciones. Luego se realizó una medición de prueba donde se comprobó que el molinete estaba en estado óptimo para su uso, dando confiabilidad en los valores de velocidades obtenidos. Una vez terminadas las comprobaciones se procedió a medir las velocidades reales en cada sección escogida para aforar.



5. Con el molinete Flow Sens se obtuvieron directamente valores de velocidades en las profundidades de observación, como se muestran en el anexo 3, las cuales dependen de la profundidad total de cada vertical.



### Cálculo de las velocidades medias en las verticales y subsecciones.

Después de obtener los valores de velocidades en las profundidades de observación estas se promediaron para calcular las velocidades medias en las verticales de la siguiente forma:

Para 0.5h:  $V_m = V_{0.5h}$

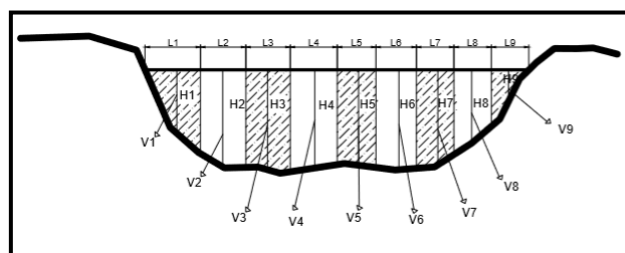
Para 0.6h:  $V_m = V_{0.6h}$

Para 0.2h y 0.8h:  $V_m = 0.5 \times (V_{0.2h} + V_{0.8h})$

Para 0.2h, 0.6h y 0.8h:  $V_m = 0.25 \times (V_{0.2h} + 2V_{0.6h} + V_{0.8h})$

Una vez calculadas las velocidades medias en las verticales (anexo 3), estas se promediaron nuevamente para hallar las velocidades medias en la subsección.

Las velocidades medias de la subsección en los bordes del canal, se hallaron multiplicando la velocidad medida de las verticales por un coeficiente  $k=0.7$ , cuando los bordes son inclinados como en un canal trapezoidal o triangular y  $k=0.9$ , cuando los bordes son rectos como en un canal rectangular o cuadrado.



*Figura 3.7: Velocidades de cada subsección*

### Cálculo del área de las subsecciones.

Una vez conocidas las profundidades de lectura se procedió al cálculo del área de la sección transversal mojada, que se utiliza para el cálculo del caudal. El área de cada subsección se

calculó considerándola como un paralelogramo cuya base (ancho de la subsección) se multiplica por la semisuma de las profundidades que delimitan dicha subsección (anexo 3).

$$A_1 = \frac{h_0 + h_1}{2} * L \quad (\text{Ec 2.1})$$

Donde:

$A_1$  = área del tramo 1(m<sup>2</sup>)

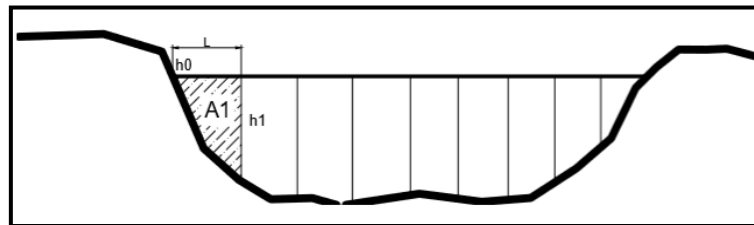
$h_0$ ;  $h_1$  = profundidades en los extremos del tramo (m)

$L$  = ancho de la superficie del tramo (m)

Si en los extremos  $h_0 = 0$ , el área de la subsección se calcula como si fuera un triángulo, siendo su área:

$$A_1 = \frac{L * h_1}{2} \quad (\text{Ec 2.2})$$

8. Para obtener el área de las demás subsecciones se repite el paso 7(anexo 3).



*Figura 3.8: Área de cada subsección.*

### Obtención de caudal.

El caudal de agua que pasa por una subsección se obtuvo multiplicando su área por el promedio de las velocidades medias registradas en dicha subsección.

$$Q_i = A_i * V_i \quad (\text{Ec 3.1})$$

Donde:

$Q_i$  = Caudal en la subsección (m<sup>3</sup>/s)

$A_i$  = Área de la subsección mojada transversal del canal (m<sup>2</sup>)

$V_i$  = Velocidad media de la subsección (m/s)

La suma de los caudales de todas las subsecciones representa el caudal total que pasa por esa sección.

$$Q = \sum Q_i \quad (\text{Ec 3.2})$$

### Registro de datos.

Esta es una labor clave para determinar la eficiencia de conducción y las pérdidas, pues cualquier dato falso o mal llenado, conducirá a errores o falsos resultados, por tanto, la información se debe registrar con mucho cuidado en hojas de registro diseñadas para este propósito.



### **Determinación de eficiencia de conducción y las pérdidas.**

Teniendo calculado los caudales por sección, se procedió al cálculo de eficiencia en los subtramos escogidos, cuyos valores se multiplicaron para obtener la eficiencia total del tramo de canal en la que se realizó el estudio.

La diferenciación entre la medición directa de caudal que entra y sale del canal de derivación, ofrece las pérdidas.

$$E_c = \frac{Q_s}{Q_e} * 100 \quad (\text{Ec 3.3})$$

Donde:

Ec = Eficiencia de conducción del agua (%)

Qe = Caudal de entrada al canal o tramo (m<sup>3</sup>/s)

Qs = Caudal de salida del canal o tramo (m<sup>3</sup>/s)

Los resultados de la determinación de la eficiencia en cada uno de los tramos analizados se muestran en el capítulo 3 de esta tesis.

### **4. Eficiencia del canal magistral Calabazar-Purio. Análisis de los resultados.**

A partir de las mediciones en el área de estudio y los cálculos realizados en el capítulo anterior, se determinaron los parámetros cuyos resultados se muestran en este capítulo.

#### **Diagnóstico del estado actual del canal**

La captación del recurso hídrico del río Sagua la Chica al canal magistral Calabazar-Purio se realiza mediante la derivadora Pavón. El estado de conservación de la obra funciona de manera regular, observándose una deformación sustancial de la sección transversal del canal.



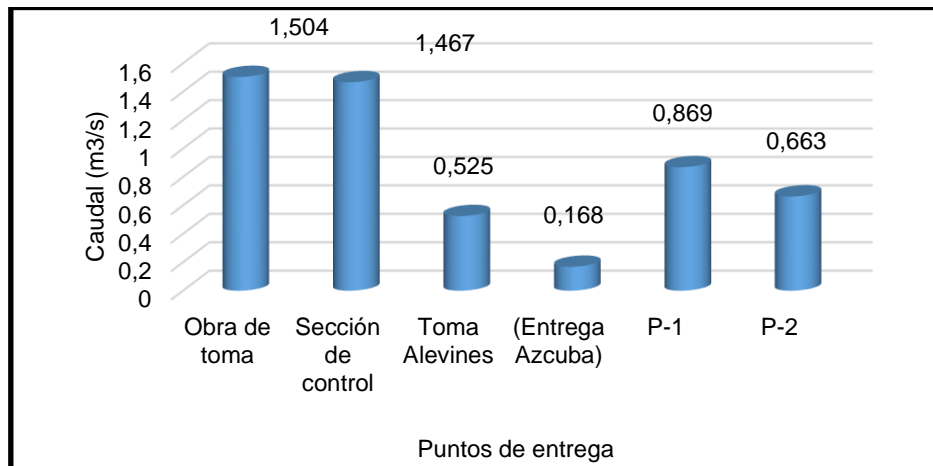
*Figura 4.1: Deformación de la sección transversal del canal*

### Análisis de velocidad, área y caudal

Los valores de velocidad, área y caudal se obtuvieron a partir de los aforos realizados en el tramo de canal donde se realizó el estudio.

**Tabla 3.1: Resultados obtenidos con la realización de los aforos.**

Estacionado	Puntos de Entrega	Secciones	Vel. Media en la sec. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
11+60	Obra de toma	1	0.0986	15.26	1.504
17+70	Sección de control	1	0.1766	8.3	1.467
31+50	Toma Alevines	1	0.3025	0.4	0.121
		2	0.557	0.304	0.169
		3	0.559	0.31	0.186
		4	0.222	0.22	0.049
39+59	(Entrega Azcuba)	1	0.108	1.56	0.168
	P-1	2	0.1544	5.63	0.869
50+94	P-2	1	0.18	3.68	0.663



**Gráfico 4.1 Caudal que pasa por cada punto de entrega.**

**Valoración del canal en cuanto a la eficiencia.**

Uno de los indicadores del encargo estatal de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara es la eficiencia en conducción en canales que se mide anual y mensualmente, así como el cumplimiento de las acciones planificadas en los mantenimientos y reparaciones para la mejora de las mismas. Se realizan comprobaciones de las mediciones con molinete, como métodos de precisión y comprobación de la hidrometría de explotación.

Según los datos de diseño la eficiencia evaluada establecida en los proyectos de riego y drenaje para los canales magistrales de la Empresa de Investigaciones y Proyecto Hidráulicos de Villa Clara determina que la eficiencia para condiciones óptimas de trabajo en canales magistrales en tierra es de 90% como se refleja en la siguiente tabla.

**Tabla 4.2: Valores de eficiencia estimados para sistemas de riego.**

<b>EFICIENCIA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PARA CONDICIONES ÓPTIMAS</b>					
<b>Canales Magistrales (%)</b>	<b>Canales Primarios (%)</b>	<b>Canales Secundarios (%)</b>	<b>Terciarios (%)</b>	<b>Aplicación (%)</b>	<b>Total</b>
0,90	0,95	0,96	0,96	0,7	0,47

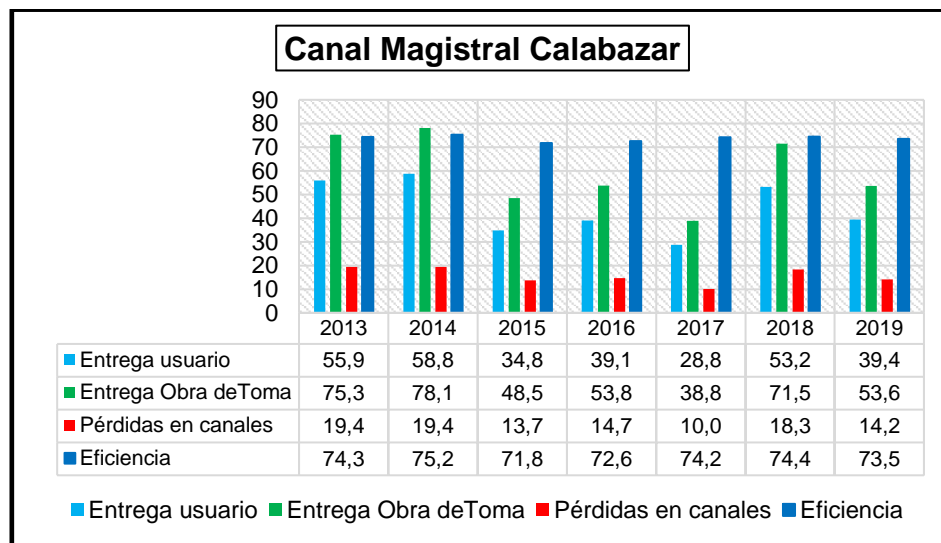
El estudio realizado en este trabajo arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 4.3: Resultados de eficiencia y pérdidas.**

<b>CANAL MAGISTRAL CALABAZAR-PURIO</b>
<b>RESUMEN DE CÁLCULO DE EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>
Tramo estación 11+60 a la 50+94

Longitud del Tramo (km)	Longitud del Canal (km)	Gasto Aforado al inicio del tramo (m <sup>3</sup> /s)	Gasto Aforado al final del tramo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdidas en el Tramo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdidas por km de Canal (m <sup>3</sup> /s)	Pérdidas por km de Canal (%)	Eficiencia del Tramo (%)
1	2	3	4	5	6	7	8
0,610	22,255	1,504	1,467	0,037	0,061	4,0	97,5
2,189	22,255	1,467	1,394	0,073	0,033	2,3	95,0
1,135	22,255	0,869	0,831	0,038	0,033	3,9	95,6
<b>RESUMEN DE CÁLCULO DE EFICIENCIA DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO</b>							
3,934	22,255	1,504	1,356	0,148	0,038	2,50	89

Como resultado de las mediciones realizadas en el canal se determinó que la eficiencia real del tramo estudiado es de un 89%, se aprecia que está dentro del rango establecido por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH-VC) para los canales magistrales. A continuación, se presenta el registro de datos reales de la explotación del canal magistral Calabazar-Purio.



**Gráfico 3.2: Comportamiento de la explotación del canal durante los últimos 6 años.**

Al comparar la eficiencia real calculada con los registros de hidrometría de explotación de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara, se puede apreciar que existe un 15% de eficiencia asociadas al estado técnico de las obras de fábrica, los hidromecanismos, mantenimiento del canal, funcionamiento de las obras y soluciones hidrométricas y el trabajo de los operarios que interviene en las entregas de agua directamente a los usuarios.

## 5-Conclusiones



- 1- Se determinó, a partir de calcular los gastos, la eficiencia en conducción de agua de la estación 11+60 a la 50+94 en el canal magistral Calabazar-Purio a partir de la metodología de realización de aforos con molinetes hidrométricos.
- 2- El estudio de eficiencia realizado forma parte del registro primario que garantiza la trazabilidad del indicador eficiencia en canales que se mide para la gestión del encargo estatal en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara.
- 3- La eficiencia obtenida de un 89% en el tramo de estudio, a pesar de las deformaciones en la geometría del canal provocadas por varios años de explotación, se encuentra cercana a los parámetros de diseño en condiciones óptimas.
- 4- Se aprecia que, al comparar la eficiencia obtenida en el estudio con la hidrometría real de explotación, existe un 15% de eficiencia no vinculada a las pérdidas por infiltraciones propias del canal, sino por la incidencia de otros elementos como son el estado técnico de las obras de fábricas, mantenimiento del canal, soluciones hidrométricas y la ejecución de las entregas a los usuarios por parte de los operarios.

#### **5- Recomendaciones**

- 1- Continuar los trabajos de evaluación de la eficiencia en conducción al canal magistral Calabazar-Purio en toda su longitud, no solo para obtener un dato estadístico sino para precisar las eficiencias reales.
- 2- Para corregir las deformaciones que presenta el canal Calabazar-Purio por el largo periodo de explotación se requiere someter el canal a una reparación capital para restablecer sus parámetros de diseño.
- 3- Revestir, si las condiciones económicas lo permiten, la mayor cantidad de kilómetros del canal para garantizar un aumento en la eficiencia en conducción.

#### **6- Referencias bibliográficas**

1. ANDERS BRUGAL PÉREZ AAD, NORBERTO DE LEÓN MARRERO. . El coeficiente de Manning y el cambio de precisión de los MDT en la simulación hidráulica [Online], . Ingeniería Hidráulica y Ambiental [Online],. 2010.;Vol. 31.
3. ESTRADA VI. Diseño de la investigación, Diseño de la investigación en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, . 2008. .
4. CIVIL D. Guía para la realización de estudios de riesgo para situaciones de desastres "Ciudad de la Habana, [Online]. . (2005).
5. RODRIGUEZ RUIZ P. Conceptos y elementos de un canal. (2010).





6. Villón Béjar M. Tecnológica de Costa Rica. Hidráulica de Canales Lima - Perú: . (2007). :pág 15.
7. Cruz. OH. (TRABAJO DE DIPLOMA EVALUACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN CANALES REVESTIDOS CON HORMIGÓN PROYECTADO) (2018).
8. J. H. Cavidad R. Hidráulica de Canales Fundamentos,. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT, (2009).
9. NINA W. Canalesnaturales[enlínea]. (2018). Available from: <<http://walter24na.blogspot.com.co/2013/02/canales-naturales.html>> [Citado el 26 de marzo de 2018].
10. Carneiro. PJ. Unidad II: Flujo En Canales Abiertos. ``Santiago Mariño´´Ingeniería Civil Mecánica de Fluidos II Octubre (2015).
11. 4 de Julio, 2019.  
. Available from: <http://www.escolar.com/lecturas/variedades/los-canales-de-navegacion.html>.