

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN

**“EVALUACIÓN DEL NIVEL DE EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL
CANAL DE RIEGO CHILILIQUE - JAÉN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR: Mg. Ing. JOSÉ ANTONIO CORONEL DELGADO

BACHILLER: NEILI RIMARACHIN MONTENEGRO

JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ

2013

DEDICATORIA

A DIOS.

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy y por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría toda es posible.

A MIS PADRES

Amable Rimarachín Coronel y Eufemia Montenegro Mego, por su apoyo y amor incondicional, estuvieron siempre a lo largo de mi vida estudiantil; a ellos que siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles y que han permitido ser una persona de bien.

A MI FAMILIA

Gracias a todos los integrantes de mi familia en especial a mis hermanos y hermanas, quienes han sido mis amigos fieles y sinceros, en los que he podido confiar y apoyarme para seguir adelante

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Agradezco en primer lugar a Dios quien me dio la Vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor me ha dado la sabiduría suficiente para culminar mi carrera universitaria.

A MI ASESOR

Agradezco también de manera especial a mi asesor de tesis Ing. José Antonio Coronel Delgado, quién con sus conocimientos y apoyo supo guiar el desarrollo de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación de la presente tesis.

A MIS PADRES

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento, reconocimiento y cariño a, mis padres por todo el esfuerzo que hicieron para darme una profesión y hacer de mi una persona de bien, gracias por los sacrificios y la paciencia que demostraron todos estos años; gracias a ustedes he llegado a donde estoy.

ÍNDICE

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I. MARCO TEÒRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	3
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSION.....	56
CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....	67
CAPITULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	71

Índice de tablas

Título	Página
Tabla 1.	
Matriz de operacionalización de variables UTM.....	42
Tabla 2.	
Coordenadas	43
Tabla 3.	
Obtención de caudales día 01: lunes 11 de febrero del 2013.....	56
Tabla 4.	
Obtención de caudales día 02: miércoles 13 de febrero del 2013.....	56
Tabla 5.	
Obtención de caudales día 03: viernes 15 de febrero del 2013.....	57
Tabla 6.	
Obtención de caudales día 04: lunes 18 de febrero del 2013.....	57
Tabla 7.	
Obtención de caudales día 05: miércoles 20 de febrero del 2013.....	58
Tabla 8.	
Obtención de caudales día 06: viernes 22 de febrero del 2013.....	58

Tabla 9.

Obtención de datos de la condición del revestimiento del canal Chililiqui.....	60
--	----

Tabla 10.

Calculo de caudales promedio de entrada y salida canal Chililique.....	61
--	----

Tabla 11.

Calculo de la eficiencia de conducción del canal Chililique.....	63
--	----

Tabla 12.

Resumen de deformaciones en tramo en estudio.....	64
---	----

Tabla 13.

Resumen del estado del revestimiento más importantes.....	65
---	----

Índice de figuras

Título	Página
Figura 1.	
Borde libre de un canal	10
Figura 2.	
Obstrucciones en canales	18
Figura 3.	
Agrietamiento en canales	19
Figura 4.	
Rotura en canales	21
Figura 5.	
Capacidad hidráulica insuficiente en canales.....	22
Figura 6.	
Erosión de la superficie en el cuerpo de la estructura.....	24
Figura 7.	
Agrietamiento en el cuerpo de la estructura.....	26
Figura 8.	
Daño por vegetación.....	27

Título	Página
Figura 9.	
Erosión de juntas en el cuerpo de la estructura	29
Figura 10.	
Desplazamiento de juntas en el cuerpo de la estructura	31
Figura 11.	
Método del flotador	37
Figura 12.	
Mapa departamental	43
Figura 13.	
Área de ubicación del proyecto-distrito Jaén.....	44
Figura 14.	
Cauce del río Amaju	45
Figura 15.	
Flora en el canal Chililique	46
Figura 16.	
Condición de grieta en una progresiva del canal	55
Figura 17.	
Caudales de entrada y salida del canal Chililique	62
Figura 18.	
Distribución de eficiencia de conducción	63

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue de determinar el nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique Jaén –Cajamarca, comprendido entre el km 02+000 – 03+000, la toma de datos se realizó mediante visitas de campo y haciendo una determinación de los caudales de entrada y salida en el tramo de un kilómetro, interdiario por dos semanas, también se hizo la inspección y descripción del estado de recubrimiento del canal.

En esta investigación se usaron vertederos de pared delgada de sección rectangular con dos contracciones para determinar los caudales de entrada y salida, así como fichas de evaluación del estado de recubrimiento del canal.

Se determinaron caudales de entrada y salida que muestran una distribución un poco uniforme sin cambios sinuosos de un día para otro, teniendo como caudal de ingreso y salida máximos 0.60 m³/seg. Y 0.49 m³/seg. Respectivamente, también determinamos que el nivel eficiencia de conducción más alta es de 82.92% y la más baja de 80.38%.

El nivel de eficiencia de conducción de riego del agua del canal es Chililique deficiente esto se debe al recubrimiento pobre de canal, deterioro de juntas, la presencia de grietas, fisuras y la falta de mantenimiento, ya que la eficiencia de conducción del canal como resultado de la investigación es de 81,80%.

Palabras clave.: Eficiencia, conducción, evaluación, recubrimiento, canal.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the level of driving efficiency irrigation canal water Chililique Jaén-Cajamarca between the km 02 +000 - 03 +000, data collection was carried out through field visits and making an assessment of input and output flows in the stretch of a mile, inter-day for two weeks, also made the inspection and description of the state of the channel lining. In this research we used thin wall landfills rectangular with two contractions to determine the input and output flows, and evaluation sheets covering the channel state.

Were determined input and output flows showing a uniform distribution slightly sinuous unchanged overnight, with the input and output flow of 0.60 m³/sec maximum. And 0.49 m³/sec. Respectively, also determine the level higher driving efficiency is 82.92% and 80.38% lower.

The level of driving efficiency irrigation canal water is deficient Chililique this is due to poor channel coating, gaskets, presence of cracks, fissures and lack of maintenance of the canal, as the driving efficiency of the channel as research result is 81.80%.

Key words: channel, efficiency, conduction, evaluation, lining.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio referido a la Evaluación del nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique Jaén –Cajamarca, comprendido entre el km 02+000 – 03+000, Se ha observado que el canal de riego Chililique, ubicado en la parte alta de la ciudad de Jaén, no es ajeno a los diversos problemas que se están presentando en el mundo, con respecto al nivel de eficiencia de conducción de agua, por lo que se pretende con el presente estudio evaluar el nivel de eficiencia de conducción del canal chililique, para que en base a los resultados obtenidos, los usuarios y directivos del canal, traten de mejorar este servicio.

El objetivo general de la investigación fue Evaluar el nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique Jaén –Cajamarca, comprendido entre el km 02+000 – 03+000. Y sus objetivos específicos son: Determinar el caudal de entrada y salida del canal de riego Chililique en el tramo en estudio, Evaluar el estado del recubrimiento del canal de riego Chililique y evaluar el estado de las juntas de dilatación del canal de riego Chililique

La hipótesis planteada en la investigación es el nivel de eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique es deficiente por el estado de las juntas y recubrimiento. Teniendo como variables independientes al conjunto de caudales de entrada y salida en el tramo en estudio de un kilómetro y variable dependiente a la eficiencia de conducción.

El estudio tiene el carácter de una primera aproximación y pretende dar cuenta de los aspectos generales acerca del nivel de eficiencias de conducción de los canales de riego.

La carencia de información real sobre el nivel eficiencia de conducción de los canales de riego, trae consigo que el agua que se encausa no sea aprovechada a máximo. Lo anterior conlleva a falta de correlación entre la eficiencia programada con la eficiencia obtenida y, esto a la vez, genera incumplimiento de las metas e incertidumbre de la población beneficiaria.

En nuestro medio La falta de estudios respecto nivel eficiencia de conducción del canal en estudio, ha traído consigo que no se esté optimizando su uso, por lo que el presente estudio busca proponer recomendaciones que permitan mejorar el nivel eficiencia de conducción del canal de riego Chililique y los del área de influencia de la zona.

La presente tesis servirá como referencia para otros estudios similares, para la empresa contratista, el gobierno regional, consultores y como elemento de consulta para investigadores y estudiantes.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Internacionales.

Un estudio realizado en México (Distrito de Riego del Río Mayo en Sonora). En este Distrito se llevó a cabo un minucioso estudio sobre la eficiencia en el uso del agua (Palacios, 1976), en base al cual pueden explicarse las metodologías utilizadas para la estimación de los diferentes componentes de las pérdidas. Se encontraron aportes importantes en el tema, Se estima que en promedio en los Distritos de Riego de México se pierde un 40% del agua en la conducción; es decir la eficiencia media de conducción es del orden del 60%. No obstante, debe recordarse que no toda el agua se desperdicia, ya que parte va a los acuíferos y posteriormente puede ser nuevamente aprovechada; sin embargo, en los Distritos costeros, la mayor parte del agua perdida se va hasta el mar, sin que sea posible su utilización.

Algunas de las conclusiones de este estudio son:

Las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo a su origen en: a) por infiltración; b) por evaporación.

a) Las pérdidas por infiltración se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos; sin embargo, en algunos casos de revestimientos agrietados o con mampostería en mal estado, también pueden ser de mucha importancia. El monto de estas pérdidas es variable, destacando el caso de los canales no revestidos, construidos en suelos permeables, donde pueden ser de mucha consideración.

b) Las debidas a la evaporación son relativamente menores que las de infiltración; sin embargo, en muchos distritos de riego el área expuesta a la evaporación en los cauces naturales o canales con diques, puede ser grande y en consecuencia las respectivas pérdidas por evaporación de importancia.

c) Las fugas por las estructuras, en la actualidad son muy importantes en la mayoría de los Distritos de Riego debido al mal estado en que se encuentran.

Para evaluar los componentes de las pérdidas de conducción, se efectuaron muestreos con infiltrómetros y evaporímetros sobre varios tipos de canales, se utilizaron los datos de los informes de distribución de aguas, en los que se presentan las pérdidas mensuales por tramos de canales; también se muestrearon las pérdidas por fugas en estructuras y se realizaron aforos en diferentes tramos de canales para afinar la información obtenidas en la muestra con los infiltrómetros, la que se expandió con el apoyo del estudio agrológico

1.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

1.2.1. Canales

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad, 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 (Villón 2008).

1.2.2. Tipos de revestimiento de canales

El revestimiento de canales se hace por varios motivos como son:

1. Evitar pérdidas de conducción por filtraciones.
2. Evitar erosiones en el cauce del canal, por exceso de velocidad del flujo de agua.
3. Por estabilidad del canal, en el caso de canales en ladera, en que las filtraciones pueden causar asentamientos o deslizamientos de la plataforma del canal.
4. Para disminuir la sección del canal, obteniendo coeficientes de fricción bajos.

El revestimiento con concreto o mampostería de piedra, puede cumplir la mayoría de los objetivos y el enrocado o revestimiento con piedras, puede cumplir relativamente el objetivo de evitar erosiones.

El uso de madera o láminas de fierro (con cilindros) se usa solo en el caso de puentes, canales o tramos de canales provisionales. Los cilindros se usan

también en tramos de canales tapados o entubados. Los revestimientos más frecuentes o más usados son:

1.2.3. Canales de revestimiento de concreto simple

Consiste en colocar una capa de concreto de $f'c:175\text{kg/cm}^2$, al piso y paredes laterales del canal, formando un espesor uniforme y acabado y pulido.

Nivelar el acabado al espesor que determine la cercha.

En canales revestidos de concreto el talud típico es 1:5:1. Sin embargo. En canales más pequeños, hasta de $2\text{m}^3/\text{s}$ de capacidad, suele adoptarse el talud 1:1 valores menores necesitan del uso de moldes y seguramente el revestimiento debe resistir el empuje lateral de los suelos.

El talud definitivo solo se obtiene a partir de las propiedades mecánicas del material (Jorge segura 1993).

1.2.4. Ventajas que ofrece el revestimiento de canales

El revestimiento de canales, como está ampliamente demostrado por la experiencia, reduce o elimina las pérdidas por infiltración, dependiendo de la materialidad de éste, además de ofrecer otras importantes ventajas como se indican a continuación:

a. Prevención de la erosión

La variación de las velocidades en canales sin revestimiento produce sedimentación de materiales extraños y desprendimientos en los taludes. Estos fenómenos son más notables en zonas de suelos granulares que, por su menor cohesión, son fácilmente disgregables, lo que provocan modificaciones de la sección transversal, e incluso cambios en los perfiles longitudinales del canal.

El revestimiento de los canales permite adoptar velocidades de escurrimiento más elevadas y radios de curvas horizontales menores, lo que se traduce en longitudes y secciones menores así como taludes más empinados que en los canales sin revestir.

b. Imposibilidad de roturas

Como consecuencia de socavaciones provocadas por erosión, embancamientos por perturbaciones debidas a vegetación o sedimentación de materiales de arrastre, acción de animales cavadores u otras causas diversas, en los canales no revestidos pueden producirse roturas cuyas consecuencias pueden llegar a ser catastróficas, no sólo desde el punto de vista económico, sino de la seguridad personal de los habitantes de zonas situadas en niveles más bajos.

En efecto, la rotura imprevista de una canalización puede provocar la pérdida de una cosecha por falta de agua en los sembrados durante el lapso que dure la reparación; por otra parte, una vez producida una abertura en el talud del canal la misma velocidad del agua provoca el ensanchamiento de esa abertura, con lo cual pueden formarse verdaderos aluviones que destruyen cultivos, vías de comunicación, y hasta poblaciones con el consiguiente peligro para sus habitantes.

Si el canal es revestido resulta casi imposible la producción de roturas, y aún en el caso en que ocurrieran agrietamientos, la resistencia a la erosión del material del revestimiento impide el ensanchamiento de la abertura con lo cual se evita la posibilidad de consecuencias graves. Además que este tipo de eventos pueden ser reparables.

c. Eliminación de vegetación

En los canales sin revestimientos, tanto los taludes como el fondo tienden a cubrirse de vegetación, especialmente pastos y hierbas, aunque también suelen en algunos casos desarrollarse en las bermas arbustos y hasta árboles.

La vegetación afecta al canal, por una parte al restarle agua que las plantas utilizan para su desarrollo y por otra parte al contribuir a disminuir la velocidad del agua, con lo cual se reduce el caudal, y simultáneamente, se facilita el depósito de sedimentos, lo que, a su vez, tiende a disminuir la sección efectiva del canal.

El revestimiento impide el crecimiento de la vegetación anulando los inconvenientes enumerados.

d. Aumento de la capacidad del canal.

La eliminación de la erosión permite que el agua circule en los canales revestidos a mayor velocidad que en los de tierra, obteniéndose, como resultado, mayor caudal para igual sección.

Las velocidades límites para canales de tierra están comprendidas entre 0,50 y 1 m/s, dependiendo del tirante de agua y del tipo de suelo. En canales revestidos, son admisibles velocidades muy superiores.

e. Disminución de los costos de mantenimiento

La conservación de los canales de riego no revestidos incluye las tareas de extracción de vegetación, cierre de aberturas, re perfilado transversal y longitudinal, cegado de cuevas y eliminación de animales excavadores. Las tareas mencionadas son permanentes y su abandono, aún por cortos períodos, puede provocar inconvenientes importantes. Estos ítems desaparecen casi totalmente en los canales revestidos.

A los efectos de realizar estudios comparativos de costos entre canales revestidos y sin revestir, deben agregarse a los costos iniciales de ambos, los respectivos costos de mantenimiento; esta consideración adquiere gran importancia si se tiene en cuenta que en determinadas condiciones, y para algunas zonas, el costo anual de la conservación se aproxima al costo inicial de un revestimiento de hormigón.

f. Reducción de los costos de riego

La simplificación en las tareas de distribución de las aguas, provenientes de la automatización que permiten los canales revestidos brinda una disminución sustancial de la incidencia de mano de obra; el valor de esta reducción puede llegar al 75% con respecto a los canales sin revestir; simultáneamente, la mencionada simplificación ahorra tiempo lo que resulta muy importante cuando se trata de hacer llegar el agua a las plantaciones en el momento oportuno.

g. Protección de la salud pública

El medio ambiente existente en los canales sin revestir es propicio a la proliferación de insectos y en especial mosquitos.

Entre las causas que favorecen el desarrollo de mosquitos en los canales sin revestir pueden mencionarse las siguientes:

- 1- Filtraciones que originan zonas pantanosas.
- 2- Fondos de canales no perfectamente a nivel, lo que causa la formación de charcos y crecimiento de pasto durante los períodos en que el canal no se usa.
- 3- Los mosquitos dejan sus huevos preferentemente en las espadañas y otras malezas que crecen en los canales no revestidos.

En los canales revestidos no se dan las condiciones favorables para el desarrollo de los mosquitos debido a que la filtración y formación de charcos se reducen y se elimina el crecimiento de malezas (Pirqué 2009).

h. Acortamiento del trazado por las mayores pendientes admisibles

Como consecuencia de la alta resistencia al desgaste que posee el hormigón, pueden adoptarse en los canales revestidos con este material, velocidades de circulación del agua muy superiores a las de los canales sin revestir. Por tal razón en zonas de topografía accidentada es posible disminuir la longitud de los canales, aumentando la pendiente longitudinal del trazado y disminuyendo los radios de las curvas horizontales.

1.2.4. 1. Condiciones que deben cumplir los revestimientos de canales

Para que esas ventajas del revestimiento de los canales de riego se obtengan realmente es necesario que cumpla con determinadas condiciones, siendo las más importantes la impermeabilidad, resistencia estructural y a la erosión, durabilidad, máxima eficiencia hidráulica, resistencia a la acción destructiva de elementos externos al canal, costo moderado (Pirqué 2009).

1.2.5. Velocidad mínima

General, para evitar el depósito de materiales en suspensión se recomienda diseñar un canal revestido con una velocidad mínima aceptable del orden de 0.4 a 1.0 m/s.

1.2.6. Velocidad máxima

La velocidad máxima en un canal trapecial se obtiene cuando este se diseña con la sección óptima o de área mínima por el hecho que si el gasto Q es constante y el área es mínima $= A_{\min}$, entonces: $Q/A_{\min} = V_{\max}$.

En los canales revestidos, las velocidades máximas aconsejadas están entre 1.5 y 3 m/s en tramos rectos. Sin embargo, en tramos curvos, en zonas donde se ubican compuertas, partidores, etc, la velocidad recomendada es 1m/s.

1.2.7. Velocidad Superficial

La velocidad de superficie de corriente, V_s , se toma igual a la velocidad del cuerpo flotante y se calcula mediante la relación el espacio recorrido L , y el tiempo de viaje t .

$$V_s = L/t$$

1.2.8. Velocidad media

Se considera que la velocidad media de corriente, V_m , es del orden de $0.75V_s$ a $0.90V_s$, donde el valor mayor se aplica a las corrientes de aguas más profundas y rápidas (con velocidades mayores de 2 m/s, habitualmente, se usa la siguiente ecuación para estimar la velocidad media de corriente $V_m = 0.85V_s$ si se divide el área de la sección transversal del flujo en varias secciones, de área A , para las cuales se miden velocidades superficiales, V_s , y se calculan velocidades medias, V_m el caudal total se podrá determinar como la sumatoria de la sumatorias de los caudales parciales Q de las siguiente manera (Valverde 2007).

$$Q = V_{m1} * A_1 + V_{m2} * A_2 + \dots + V_{m_n} * A_n$$

1.2.9. Taludes

Se refiere a la inclinación que poseen las paredes laterales del canal y las cuales se expresan en forma de proporción. La forma más usada en canales es la

trapezoidal, con taludes que dependen del terreno en el cual el canal será excavado (Villón 2008)

1.2.10. Borde libre

Se denomina borde libre (free board) a la altura (tirante) adicional que se da a fin de absorber los niveles extraordinarios que puedan presentarse por encima del caudal de diseño de un canal.

El borde libre es, pues, una seguridad que toma el ingeniero diseñador contra fenómenos que tienen una cierta probabilidad de ocurrencia.

Entonces la magnitud del borde libre depende esencialmente del grado de seguridad que se debe dar al canal como consecuencia de su importancia y de una estimación de la posibilidad que ocurra algún fenómeno extraordinario.

En consecuencia, en la determinación de la magnitud del borde libre juega un gran papel la naturaleza del terreno en que está construido el canal. Si el canal rebalsa y está en zona arenosa las consecuencias pueden ser mucho más graves que en otro tipo de suelo.

Para dimensionar el borde libre (entendido como una altura vertical adicional al tirante) debemos tener en cuenta la forma de la sección transversal y esencialmente la curva gasto-tirante.

Ven Te Chow señala que el borde libre varía entre menos del 5 % y más del 30 % del tirante. Indudablemente se trata de valores extremos (Aguirre, 1974).

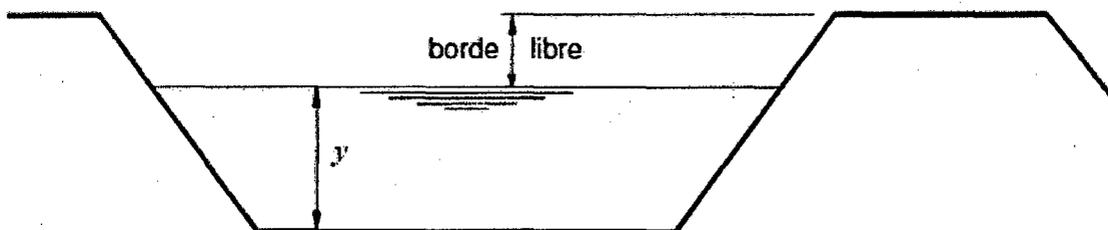


Figura 1. Borde libre de un canal

1.2.11. Eficiencia de conducción

Se entiende como relación entre el volumen de agua realmente utilizado, necesario para la planta y el volumen de agua que se entrega.

$$E_{fc} = V / V_e$$

$$V = \text{Volumen útil} \quad V_e = \text{Volumen entregado}$$

En los proyectos de riego nuevos, no se concibe solamente llevar el agua hasta nivel de bocatoma, sino que se está dando énfasis al sistema de distribución interna en la parcela, lo que redundará en un aumento en las eficiencias de riego. En la medida que se conozcan las pérdidas de conducción y aplicación, se mejorará la programación de los riegos y el control de la operación, pues permitirá atender los pedidos en el menor tiempo posible. Las pérdidas en un canal se pueden resumir en cuatro formas, a saber:

(Valverde 2007)

- **Pérdidas por evaporación:** usualmente son de poca dimensión y no se toman en cuenta.
- **Pérdidas por fugas:** se producen por el mal estado de las estructuras, desajustes en las compuertas, empaques viejos, etc. Si no se les da importancia, pueden ser de grandes dimensiones.
- **Pérdidas por mal manejo de la operación:** se producen por descuidos del personal, que abren las compuertas más de lo debido, o bajan el tirante sin haber terminado el ciclo de riego, etcétera.
- **Pérdidas por infiltración:** son las de más importancia; dependen del perímetro mojado, longitud del canal, coeficiente de infiltración y carga hidráulica.

A este nivel, se reportan pérdidas que oscilan de 15 a 45% (Grassi, C).

Se define como infiltración al movimiento del agua a través de la superficie del suelo, y hacia adentro del mismo, producido por la acción de fuerzas gravitacionales y capilares. Cuando un canal lleva mucho tiempo transportando agua y el suelo por el que está trazado se satura, las fuerzas capilares pierden importancia paulatinamente hasta llegar un momento en el que el movimiento del agua se produce sólo por la acción de la gravedad y la velocidad de infiltración se hace constante. (Aparicio, 1992). Esta velocidad de infiltración se define como infiltración básica. La textura del suelo, las porciones de partículas finas, la compactación, y la estructura son los factores que afectan las fuerzas gravitacionales. Por su parte, Alam y Bhutta (2004), exponen que la infiltración es afectada por la antigüedad y la forma del canal, por la longitud de su perímetro mojado, por la profundidad del agua en el canal (altura del pelo de agua), por la proximidad de acuíferos freáticos o la presencia fronteras impermeables en el subsuelo (filtración sujeta), y por la cercanía de drenes. Como factores de menor importancia menciona la viscosidad, la carga de sedimentos y su distribución de tamaño, la presencia de plantas acuáticas y la edad de canal.

A.-Métodos de medición de pérdidas por infiltración:

Para medición de las pérdidas por infiltración existen métodos directos y métodos analíticos y empíricos.

➤ **Métodos directos:**

- Método del estanque o endicamiento:

Consiste en aislar un sector del canal lleno de agua y medir las pérdidas registradas en función del tiempo. Las pérdidas se expresan en m³/m²/día.

Las mediciones por el método del estanque -ponding method en inglés- (Alam y Bhutta, 2004), se pueden llevar a cabo durante el periodo de corta del canal, inmediatamente después del cese del flujo normal, mientras que el perímetro del canal está todavía saturado. Se debe aislar un sector del canal de por lo menos 300 m, por medio de diques temporales; conviene sellar los extremos con una lámina de plástico. Se observa el nivel del agua estancada en la sección a intervalos regulares, generalmente durante varios días y se observa la velocidad de caída de nivel de agua después del llenado inicial. Se debe tener en cuenta la evaporación diaria.

Para los cálculos, los autores proponen la fórmula sugerida por Kraatz (Kraatz, 1977, citado por Alam y Bhutta, 2004)

$$S = W(d_1 - d_2) / P * L$$

Donde S es la filtración del promedio en m³ por m² cada 24 h, W el ancho medio de la superficie del agua estancada (m), d₁ la profundidad del agua al comienzo de la medición (m), d₂ la profundidad del agua después de 24 h (m), P el perímetro mojado promedio (m) y L es la longitud del canal (m).

Las principales limitaciones que mencionan los autores son: no puede ser utilizado mientras que los canales están funcionando y no se corresponde con las

velocidades y cargas de sedimentos de las condiciones de funcionamiento. Por otra parte es aplicable en pequeños canales, que pueden no tener servicio permanente. No es aplicable a todas las condiciones, requiere de la ejecución de diques, y es un método intrusivo, otra desventaja es que el material en suspensión se puede depositar en el perímetro mojado, alterando las condiciones naturales de infiltración (Kinzli, K. et al.2010).

- Método de la diferencia de caudales o de entradas y salidas

Consiste en el aforo entre dos secciones de un tramo de canal. Cuando se hace en varias porciones de canal también se lo denomina de entradas y salidas. Las pruebas se realizan en las condiciones de funcionamiento y para el caudal de operación del canal.

Históricamente, la determinación de pérdidas por infiltración en canales usando el método de entradas y salidas ha sido una tarea muy compleja. La determinación de pérdidas requiere de mucho tiempo, a la vez que la minuciosidad es fundamental para obtener resultados precisos (Kinzli, K. et al, 2010).

➤ *Métodos analíticos y empíricos*

-Modelos empíricos

Con valores conocidos y medidos de pérdidas por infiltración, para diferentes condiciones de medio físico, se pueden establecer ecuaciones empíricas y gráficos. Estos métodos permiten realizar estimaciones que se pueden emplear con fines de planificación, para situaciones similares en las que se han hecho las determinaciones (Grassi, 2001). Sin embargo, a los efectos de la operación

resulta conveniente medir las pérdidas. Para la provincia de Isfahan, en Irán, se han desarrollado modelos empíricos para indicar la relación entre la Ec. y la textura de los suelos, la capacidad del canal, la cobertura vegetal en canales de tierra. Estos modelos pueden ser eficaces según el autor para diferentes condiciones de las variables mencionadas (Sepaskhah, A. R. and Salemi, H. R., 2009). Por el contrario, para la realidad mendocina es más razonable sostener lo expresado por Grassi (2001) que expresa que las formulas empíricas y analíticas en la realidad no son de mayor ayuda desde el punto de vista de la operación, pues en este caso se requiere de mayor precisión y es por lo tanto más lógico medir las pérdidas. En zonas de suelos homogéneos puede ser de utilidad la aplicación de modelos empíricos para la estimación de la Ec.

➤ La eficiencia de conducción de un canal se puede determinar si se aforan todas las tomas y desfuegos que cubre el canal y la toma donde se abastece ese canal; esa eficiencia solo se puede medir realizando muchos aforos, por lo que la operación eficiente va estar muy relacionada con la hidrometría del lugar.

La eficiencia de conducción se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{cond.} = \frac{V_p}{V_t} \cdot 100$$

En donde:

V_p : volumen de agua entregado a nivel de parcela

V_t : volumen total derivado de la fuente de abastecimiento

Pero una forma práctica de determinar las pérdidas de conducción es aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q (\text{pérdidas}) + Q (\text{servicios})$$

El caudal de "servicios" se conoce porque se refiere al listado de solicitudes de riego, pero el caudal de pérdidas no se conoce; entonces se pueden establecer tres alternativas para asignar un valor al Q (pérdidas):

Que sea mayor que el real

Que sea menor que el real

O que sea igual al real

(Valverde 2007)

1.2.1.11.1. Medición de la eficiencia de conducción

Tal como se menciona en distintos trabajos, las pérdidas por infiltración pueden medirse directamente o estimarse en base a procedimientos analíticos y empíricos. Estas pérdidas se expresan comúnmente (Grassi, 2001) como:

- Caudal infiltrado por unidad de longitud , en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}$
- Volumen por unidad de superficie de área mojada del canal y por unidad de tiempo; en $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.
- Caudal infiltrado con relación al caudal que conduce el canal por unidad de longitud, en tanto por ciento por km.

Siguiendo al mismo autor, desde el punto de vista de las condiciones hidrodinámicas del flujo de filtración, cabe distinguir entre infiltración libre e infiltración sujeta. La infiltración libre ocurre cuando el acuífero freático y su capa capilar, se encuentra a profundidad tal que no ejerce influencia sobre la infiltración

desde el canal. La infiltración sujeta se produce cuando el nivel freático es somero, tiene una marcada influencia sobre la infiltración, que se produce según el gradiente creado entre el agua en el canal y el agua en la freática.

1.2.12. Caudal

En dinámica, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

1.2.13. Deformaciones: grietas, roturas y fisuras

a. Grietas: Todas aquellas aberturas incontroladas de un elemento superficial que afectan a todo su espesor.

b. Fisuras: Todas aquellas aberturas incontroladas que afectan solamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial.

1.2.14. Daños en canales

a.- Obstrucciones en canales

- Descripción del daño

Presencia de elementos o material que impide parcial o totalmente el adecuado transporte de las aguas por canales y zanjas de drenaje.



Figura 2. Obstrucciones en canales

- **Posibles causas del deterioro**

- Procesos erosivos en las áreas aledañas que generan el desprendimiento y la caída de rocas, detritos, suelo, arbustos y otros elementos sobre la sección hidráulica de los canales.
- Carga de sedimentos importante en el agua transportada que causa acumulación progresiva en el fondo de las estructuras.
- Sección insuficiente o pendiente menor a la mínima necesaria para evitar problemas de sedimentación.
- Falta de control sobre materiales arrojados por el hombre.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: obstrucción que afecta menos del 10% de la longitud del canal sin que haya bloqueos completos de la sección.

- Medio: obstrucción que afecta menos del 30% de la longitud del canal sin que haya bloqueos completos de la sección.
- Alto: obstrucción que afecta más del 30% de la longitud del canal o sectores con bloqueo completo de la sección.

- **Medición**

Se cuantificarán los metros lineales (m) totales de longitud obstruida. Es deseable medir de forma aproximada en metros cúbicos (m³) el volumen de material que causa la obstrucción.

- **Intervención recomendada**

Limpieza de la sección.

b.- Agrietamiento en canales

- **Descripción del daño**

Presencia de fisuras o grietas en las secciones que componen el trazado de canales.

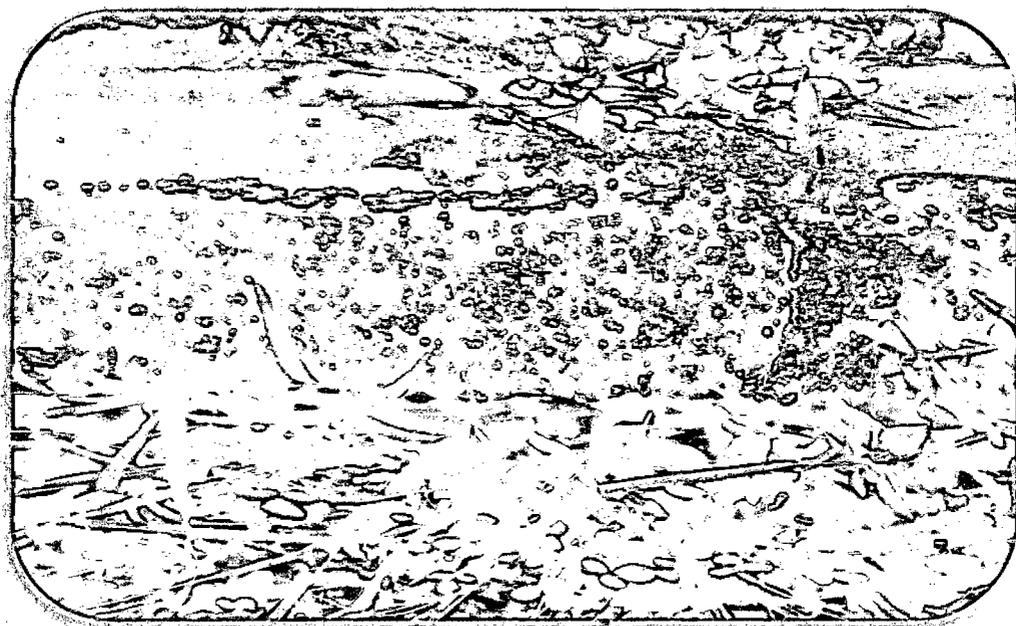


Figura 3. Agrietamiento en canales

- **Posibles causas del deterioro**

- Movimientos del terreno que inducen sobreesfuerzos sobre los materiales que conforman los canales.

- Daños por actividades antrópicas.

- Deficiencia constructiva.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: grietas cerradas y algunas pocas abiertas con separación menor a 3 mm.

- Medio: varias grietas cerradas y abiertas con separación entre 3 mm y 5 mm sin deformación de la estructura de drenaje.

- Alto: grietas prominentes o series de grietas abiertas con separación mayor a 5 mm, con posible deformación de la estructura de drenaje.

- **Medición**

- El daño se cuantifica en metros lineales (m) de canal afectado

- **Intervención recomendada**

- Severidad baja y media: sellado con materiales epóxicos o material bituminoso, si se trata de canales en concreto. Sellado con arcilla o suelo cemento en canales en tierra.

- Severidad alta: en estos casos se debe verificar la causa del deterioro y tomar las medidas necesarias para su control por parte de un ingeniero geotecnista, antes de hacer la reconstrucción final del canal. La reconstrucción total temporal se lleva a cabo mientras se solucionan las causas del problema.

C.- Rotura en canales

- Descripción del daño

Pérdida de la continuidad longitudinal del canal o zanja por rompimiento.



Figura 4. Rotura en canales

- Posibles causas del deterioro

- Movimientos del terreno que inducen deformaciones y sobreesfuerzos en los materiales que conforman los canales.

- Deficiencia constructiva.

- Construcción inadecuada de obras adyacentes.

- Nivel de severidad

- Bajo: la rotura no afecta la capacidad de conducción del canal.

- Medio: existen pérdidas parciales de caudal por causa de la rotura.

- Alto: no hay continuidad de la estructura del canal y la rotura conforma un punto importante de infiltración de agua.

- **Medición**

La afectación se cuantifica en metros lineales (m).

- **Intervención recomendada**

- Severidad baja: sellado con materiales epóxicos o bituminosos, si se trata de cunetas o canales en concreto.

- Severidad media y alta: reconstrucción completa del tramo de estructura dañado.

D.- Capacidad hidráulica insuficiente de canales

- **Descripción del daño**

Insuficiencia de la sección transversal del canal para captar y evacuar el agua que le llega.



Figura 5. Capacidad hidráulica insuficiente en canales

- **Causas del deterioro**

- Estimación de caudales subestimada en la etapa de diseño de las obras.
- Ocurrencia de caudales por eventos no previstos, por ejemplo, por el cambio de los usos del suelo.
- Pendiente longitudinal de las obras inferior a la requerida.
- Deficiencia constructiva.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: nivel de agua al borde de la estructura durante lluvias intensas y prolongadas.
- Medio: leve desbordamiento de aguas durante lluvias intensas o procesos incipientes de socavación.
- Alto: desbordamiento de agua apreciable durante lluvias normales o procesos activos y progresivos de socavación.

- **Medición**

- Se medirá la longitud de la obra hidráulica que presenta insuficiencia hidráulica.

- **Intervención recomendada**

- Si es posible, se ampliara la capacidad, aumentando las dimensiones de la sección o la pendiente.
- Reemplazo por obras de mayor capacidad.
- Construcción de nuevas obras que ayuden a disminuir el caudal captado por las ya existentes.

E.- Erosión de la superficie

- Descripción del daño

Pérdida del material que conforma la superficie de una estructura de contención.



Figura 6. Erosión de la superficie en el cuerpo de la estructura

- Posibles causas del deterioro

- Baja calidad del material de la estructura en cuanto a características de durabilidad.
- Presencia de sustancias agresivas que atacan a los materiales de la estructura.
- Flujos importantes de agua que generan erosión.

- **Nivel de severidad**

- **Bajo:** la pérdida de material es apenas perceptible (menos de 2 cm) y no hay exposición del acero de refuerzo.
- **Medio:** la pérdida de material es apreciable (más de 2 cm). En estructuras de concreto reforzado el refuerzo metálico queda localmente expuesto a la superficie en algunos sectores de la estructura.
- **Alto:** la pérdida de material es de más del 10% de la sección de la estructura. En estructuras de concreto deja al refuerzo abiertamente expuesto en varios sectores de la estructura.

- **Medición**

- Se cuantifica el daño haciendo referencia a la superficie afectada en metros cuadrados.

- **Intervención recomendada**

- **Severidad baja y media:** reponer el material perdido con inyecciones, parches, irrigaciones o cualquier otro tratamiento superficial que sea acorde con el material de la estructura,
- **Severidad alta:** un ingeniero estructural o geotecnista debe evaluar la situación y dar las recomendaciones adecuadas para la recuperación, dependiendo del tipo de estructura y de los daños que se hayan presentado.

F.- Agrietamiento

- **Descripción del daño**

Ocurrencia de fisuras y/o grietas en la estructura.

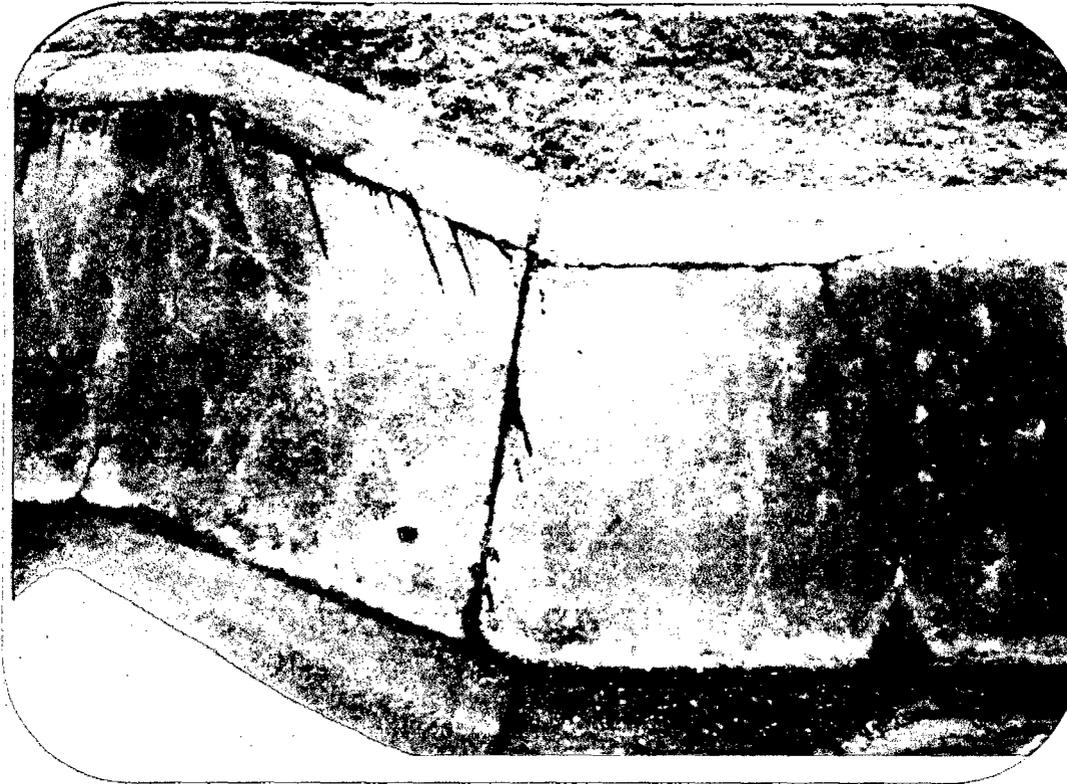


Figura 7. Agrietamiento en el cuerpo de la estructura

- **Posibles causas del deterioro**

- Agrietamiento de la estructura por empuje de tierras.
- Deficiencia constructiva o de diseño.
- Retracción por secado del material.
- Ausencia de juntas constructivas.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: fisuras cerradas, discontinuas de poca longitud.
- Medio: grietas y fisuras ligeramente abiertas o grieta cerrada continúa que no indica falla de la estructura.
- Alto: grieta o conjunto de grietas cerradas o abiertas que muestran un patrón bien definido indicativo de la falla o inicio de la falla de la estructura.

H.- Erosión de juntas

- Descripción del daño

Pérdida parcial o total del material que conforma la junta entre las secciones que forman la estructura.



Figura 9. Erosión de juntas en el cuerpo de la estructura

- Posibles causas del deterioro

- Acción erosiva del flujo de agua u otro tipo de agentes como el viento.
- Baja calidad en las especificaciones de los materiales que conforman el sello de juntas.

- Nivel de severidad

- Bajo: la pérdida de sello es parcial, menor al 20% y aún no permite la infiltración de agua.

- **Posibles causas del deterioro**

- Siembra no controlada de especies no nativas o agresivas cerca de la obra de contención.
- Ambientes húmedos propicios para el crecimiento de vegetación en pequeños espacios de la estructura.
- Ausencia o deficiencia en la limpieza periódica de las obras.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: la vegetación presente causa daños menores, especialmente estéticos.
- Medio: los daños causados por la vegetación corresponden a fisuramientos que se pueden atender con tratamientos de superficie.
- Alto: presencia de arbustos o árboles que han causado el rompimiento o agrietamiento que afecta la estabilidad de la obra.

- **Medición**

- El área de la superficie afectada se medirá en metros cuadrados (m²).

- **Intervención recomendada**

- Retiro de la vegetación causante de los daños y toma de las medidas biológicas necesarias para el control del crecimiento de estas especies.
- Sellado de grietas.
- En caso de severidad alta, se deberá hacer un estudio detallado de la afectación de la obra para determinar las medidas de control necesarias.

- **Medición**

El daño se medirá en metros lineales (m) de grietas.

- **Intervención recomendada**

- Severidad baja y media: llenar las grietas y fisuras existentes con materiales y métodos compatibles y adecuados de acuerdo con el material de la obra.
- Severidad alta: un ingeniero estructural evaluará los daños y determinará las acciones que se van a tomar o, en caso extremo, su demolición y reemplazo.

G.- Daño por vegetación

- **Descripción del daño**

Crecimiento de vegetación en las juntas de la estructura o en cercanías, que por el crecimiento de sus raíces causa daños en la obra.



Figura 8. Daño por vegetación

- Medio: la pérdida de sello se encuentra entre 20% y 40%. Existe infiltración de agua.

- Alto: la pérdida del sello es mayor al 40%. Se infiltra agua.

- **Medición**

Se determinan la longitud total (m) de las juntas que se van a reparar.

- **Intervención recomendada**

- Resellado de juntas con siliconas, asfaltos o el material más adecuado de acuerdo con el tipo de obra, tipo de junta, condiciones ambientales y material que conforma la estructura.

- Evaluar las causas de la erosión y tomar las medidas necesarias para controlarlas.

I.- Desplazamiento de juntas

- **Descripción del daño**

Movimiento con respecto a su posición original de los diferentes tipos de juntas en una obra de contención.



Figura 10. Desplazamiento de juntas en el cuerpo de la estructura

- **Posibles causas del deterioro**

- Deformaciones excesivas en la masa del terreno contenida.
- Deficiencias constructivas.

- **Nivel de severidad**

- Bajo: la deformación es pequeña y no se presentan daños en el sello de la junta. La obra tiene continuidad.

- Medio: las deformaciones causan agrietamientos en la estructura y daños en el sello de las juntas.

- Alto: las deformaciones causan que no exista continuidad en la estructura.

- **Medición**

- Se determinan la longitud total en metros (m) de las juntas afectadas y el desplazamiento de las mismas en centímetros (cm).

- **Intervención recomendada**

- Severidad baja y media: reposición de las juntas.

- Severidad alta: de acuerdo con los niveles de deformación, un ingeniero estructural deberá evaluar el grado de la afectación y definir las acciones recomendadas para la reparación o el reemplazo por una nueva estructura (Rodríguez Ordóñez, 2008).

1.2.16. Parámetros de eficiencia de conducción de canales revestidos

En los canales totalmente revestidos, con mampostería de piedra con mortero de cemento o con concreto es de esperarse eficiencias próximas al 95%, hasta 20 Kms. y de 90%, hasta 50 Kms. (García, 2008).

1.2.2. MARCO CONCEPTUAL

1.2.2.1. Vertedero

Se define como vertedero a un dispositivo hidráulico constituido por una pared perpendicular al flujo, a través del cual se hace circular el fluido. Hidráulicamente es un orificio que no está totalmente ahogado por el nivel de aguas arriba, de manera que la parte del orificio esta libre o sea es el equivalente de un orificio sin borde superior (Villón 2008).

A.- Finalidades Científicas.- Pueden utilizarse como dispositivos de aforo o elementos de calibración de aforadores en laboratorios hidráulicos.

B.- Finalidades Prácticas.- Se emplea en la medición de caudales de pequeños cursos de agua (canales de pequeñas dimensiones) y conductos libres, así como en obras de control o de excedencias en presas de embalse y también aforo de grandes canales.

1.2.2.1.1. Fundamento teórico

Se llama vertedero a la estructura hidráulica sobre la cual se efectúa una

descarga a superficie libre. El vertedero puede tener diversas formas según las finalidades a las que se destine.

Si la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma pero de arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada; cuando la descarga se realiza sobre una superficie, el vertedero se denomina de pared gruesa.

Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en el laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones. El vertedero de pared gruesa se emplea además como obra de control o de excedencias en una presa y como aforador en grandes canales (Villón 2008).

1.2.2.2. Métodos para la medición de caudales

Entre los métodos más utilizados para medir caudales de agua de canales, se encuentran los siguientes:

1. Método del flotador
2. Método Volumétrico
3. Método del Molinete
4. Estructuras de medida

4.1. Vertederos de pared delgada

4.1.1. Vertederos de pared delgada de sección rectangular

4.1.2. Vertederos de pared delgada de sección trapezoidal

4.1.3. Vertederos de pared delgada de sección triangular

En el proyecto de investigación el método a ser usado será el método de estructuras de medida por vertedero de pared delgada de sección rectangular.

1.2.2.3.1. Vertederos de pared delgada

Los vertederos de pared delgada se usan básicamente para determinar el caudal en cualquier momento en una corriente pequeña, un vertedero de pared delgada

consiste básicamente de una lámina plana, rígida, colocada perpendicular a la dirección del flujo y al fondo del canal. Son dispositivos sencillos y de bajo costo de construcción y mantenimiento. Presentan un amplio rango de medición, cuyo valor máximo puede ser 20 veces superior al caudal mínimo, manteniendo en todo momento la precisión requerida.

De modo general puede decirse que los vertederos de pared delgada son las instalaciones más adecuadas para la precisa determinación del caudal, ya que el error debido a la relación de descarga y carga varía entre 1 y 3%, mientras que para otros dispositivos primarios es mayor al 3% (vertederos de cresta ancha, Parshall, Palmer- Bowles, etc.).

Los vertederos de pared delgada se diferencian por el tipo o forma de la placa de descarga, (por ejemplo trapezoidal, triangular, rectangular, orificios calibrados, etc.).

El ancho de la cresta, medido perpendicular a la cara de la placa, debe medir entre 1 y 2 mm. La pared de aguas arriba de la placa del vertedero debe ser lisa; la cara de aguas abajo deberá ser cortada en cuña con un ángulo no menor a 45° . Los bordes de la placa del vertedero deberán ser pulidos y perpendiculares a la cara de aguas arriba.

1.2.2.3.2. Vertederos de pared delgada de sección rectangular

Un vertedero es una placa cortada de forma regular a través de la cual fluye el agua. Son utilizados, intensiva y satisfactoriamente, en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres, así como en el control del flujo en galerías y canales, razón por la cual su estudio es de gran importancia.

Según (Lux M., 2010-medidores de flujos en canales abiertos). El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo es uno de

los más utilizados.

Es un vertedero con una sección de caudal en forma de rectángulo con paredes delgadas, de metal, madera o algún polímero resistente, con una cresta biselada o cortada en declive, a fin de obtener una arista delgada.

La precisión de la lectura que ofrece está determinada por su nivel de error que oscila entre un 3 y 5 %.

Para estos vertederos se utiliza la siguiente fórmula obteniendo caudales en m³/s:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h^{3/2}$$

Que es la ecuación general para calcular el gasto en un vertedor rectangular cuya carga de velocidad de llegada es despreciable. En los países que utilizan el sis-

tema inglés de unidades se acostumbra agrupar los términos $\frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu$ en un solo coeficiente C, de tal manera que:

$$Q = C b h^{3/2}$$

Esta ecuación es más sencilla, si bien no es homogénea, es decir, que el coeficiente C, tiene las dimensiones [L^{1/2} T⁻¹] y vale:

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu = 2.952 \mu$$

El valor de μ se calcula haciendo uso la fórmula de Hegly:

$$\mu = \left[0.6075 - 0.045 \left(\frac{B-L}{B} \right) + \frac{0.0041}{h} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{L}{B} \right)^2 \left(\frac{h}{h+w} \right)^2 \right]$$

Y finalmente:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu L h^{3/2}$$

Que es la ecuación general para calcular el gasto en un vertedor rectangular.

Dónde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³/s

b=L = Ancho de la cresta, en m

h = Carga del vertedero, en m

μ=coeficiente de gasto

g=gravedad

1.2.2.3.3. Método del flotador

Es un método muy práctico para medir la velocidad del agua en un cauce o canal y consiste en el uso de flotadores, que pueden de ser tapones de corcho o algún material liviano. Se debe tener cuidado cuando se hace mucho viento, pues la velocidad se ve afectada. El error cometido es aproximadamente del 10%. Dado que la velocidad no es la misma en toda la sección del canal, por efecto del rozamiento con las paredes y el fondo, el valor obtenido se debe afectar por un factor de corrección que varía dependiendo del material de construcción del canal, por ejemplo: para canales revestidos el factor es de 0.8 y para canales de tierra es de 0.6.

El flotador no debe rozar las paredes del canal o cauce, si ocurre se debe de repetir la operación.

Procedimiento:

- Se escoge un tramo de canal recto y uniforme de unos 10 metros como mínimo.

- Se mide el tiempo, con cronometro, que tarda el flotador en recorrer dicha distancia.
- Se mide el área de la sección; si es trapecial, se aplica la fórmula siguiente:

$$A = BM + bm \cdot h/2$$

Si es parabólica, se aplica la fórmula:

$$A = \frac{2}{3} d \cdot h$$

Si es rectangular,

$$A = b \cdot h$$

En cada caso, h es la altura o tirante de agua en el canal y d o BM (base mayor) es el espejo de agua; b o bm (base menor) es la plantilla o base del canal (Valverde 2007).

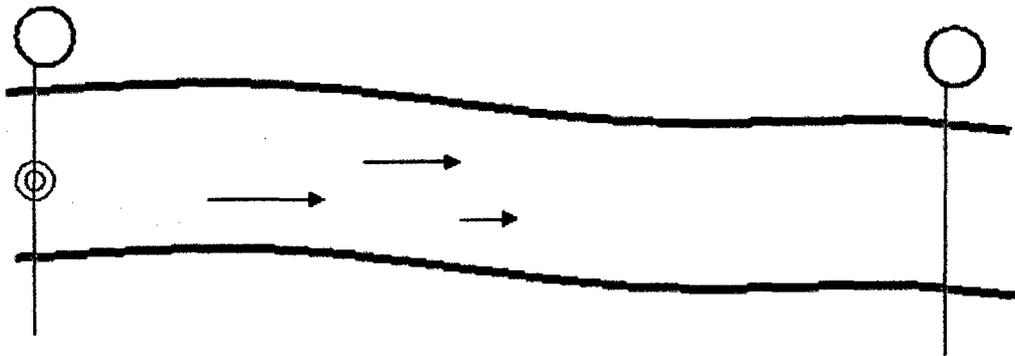


Figura 11. Método del flotador

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1. Selección del problema

La mayor parte de la Tierra está cubierta por el agua, y casi toda ella es parte de los océanos salados. Solamente una pequeña porción del agua de la Tierra es agua dulce, incluyendo ríos, lagos y las aguas subterráneas. Necesitamos el agua dulce para numerosas actividades (beber, preparar las comidas, lavar, irrigar cultivos). También hay agua almacenada como hielo en los polos. Sin agua, no existiría la vida como la conocemos

El agua es un elemento esencial para la vida, y de la misma manera para la agricultura y la ganadería, y por ende a la economía de una población, sin embargo, con mucha frecuencia se hace uso irracional e inadecuado del recurso, contribuyendo a su escasez, convirtiéndose en uno de los principales problemas para el desarrollo de comunidades y ciudades.

El setenta por ciento del agua dulce en todo el mundo se usa para el riego (Hotchkiss et al., 2001, citado por Kinzli et al, 2010). Esta cifra es tres veces la cantidad utilizada para la industria y diez veces la destinada los usos doméstico y urbano (Hotchkiss et al., 2001).

Las constantes sequías, influenciadas principalmente por los efectos del cambio climático a nivel global, al cual se suma el uso ineficiente del agua de riego que es típico del sistema de riego tradicional (por gravedad), viene generando pérdidas de agua tanto en los procesos de conducción como de distribución, ocasionando por tanto mermas considerables en la productividad agrícola del país, lo cual viene incidiendo negativamente en la rentabilidad y en la competitividad de la agricultura en la ciudad de Jaén - Cajamarca.

La mayoría de canales de riego que se construyen en el país, a pesar de haber tenido una buena asesoría técnica en la etapa de concepción, diseño y finalmente ejecución, terminan en un periodo corto, deteriorándose y resultando insuficientes o lo que es peor inoperativos. Para superar esta situación y garantizar la eficiencia de estos canales de riego, es importante determinar evaluar el nivel eficiencia de conducción de los canales.

Se ha observado que el canal de riego Chililique, ubicado en la parte alta de la ciudad de Jaén, no es ajeno a los diversos problemas que se están presentando en el mundo, con respecto al nivel de eficiencia de conducción de agua, por lo que se pretende con el presente estudio evaluar el nivel de eficiencia de conducción del canal Chililique comprendido entre el km 02+000 – 03+000, para que en base a los resultados obtenidos, los usuarios y directivos del canal, traten de mejorar este servicio.

2.1.2. Formulación del problema

➤ Problema General

¿Cuál es el nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique - Jaén?

2.1.3. Justificación de la investigación

La carencia de información real sobre el nivel eficiencia de conducción de los canales de riego, trae consigo que el agua que se encauza no sea aprovechada a máximo. Lo anterior conlleva a falta de correlación entre la eficiencia programada con la eficiencia obtenida y, esto a la vez, genera incumplimiento de las metas e incertidumbre de la población beneficiaria.

Consecuentemente, existe la necesidad de contar con información confiable sobre el nivel eficiencia de conducción de los canales de riego por cada localidad.

Estas informaciones serán de utilidad en la toma de decisiones, para proyectistas, contratistas, gerentes o administradores de obras, residentes de obra e instituciones de control y supervisión. Finalmente, la investigación podrá servir de modelo para emprender investigaciones en otro tipo de obras.

La falta de estudios respecto nivel eficiencia de conducción del canal de riego en nuestro medio, ha traído consigo asimismo que no se esté optimizando su uso, por lo que el presente estudio busca proponer recomendaciones que permitan mejorar el nivel eficiencia de conducción del canal de riego Chililique.

Generalmente el propósito de los canales de riego es lograr que los usuarios saquen mayor beneficio de sus recursos a través de un mejor aprovechamiento del agua para riego, por lo que al conocer los parámetros que afectan el normal funcionamiento de los canales, principalmente la eficiencia de conducción se convierte en un aporte importante en relación al tema.

2.1.4. Alcances y Limitaciones de la investigación

La investigación se realizó en parte alta de la provincia de Jaén - Región Cajamarca.

El estudio se realizó durante los meses de febrero a mayo del 2013 y tendrá carácter transversal. El estudio tiene el carácter de una primera aproximación y pretende dar cuenta de los aspectos generales acerca del nivel de eficiencias de conducción de los canales de riego.

La principal limitante potencial de este tipo de investigaciones es el acceso a la información, debido a la escasa capacitación de los beneficiarios en cuanto a mantenimiento de sistemas de riego actual, el cual afecta en la eficiencia de conducción de agua en el canal.

Otra de las limitaciones es el corto tiempo de estudio que se realizó durante los

meses de enero a mayo del 2013.

El canal Chillique tiene una longitud total de 6798.53 metros, el proyecto de investigación fue limitado a determinar el nivel eficiencia de conducción de agua solo de 1.00 km. debido al corto tiempo que se desarrollo el presente proyecto de tesis.

2.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Objetivo General

- ✓ Evaluar el nivel de Eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chillique Jaén –Cajamarca, comprendido entre el km 02+000 – 03+000

2.2.2. Objetivos especificos

- ✓ Determinar el caudal de entrada y salida del canal de riego Chillique en el tramo en estudio.
- ✓ Evaluar el estado del recubrimiento del canal de riego Chillique.
- ✓ Evaluar el estado de las juntas de dilatación del canal de riego Chillique

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chillique es deficiente.

2.4. VARIABLES

UNIDAD DE ANÁLISIS:

Conjunto de caudales que ingresa al canal de riego Chillique

R₁: Conjunto de caudales de ingreso en el tramo en estudio.

R₂: Conjunto de caudales de salida en el tramo en estudio.

R₃: Grado de deterioro del canal

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	
		Indicadores	Unidades o categoría escalas
VARIABLES INDEPENDIENTES			
R1: CONJUNTO DE CAUDALES DE INGRESO EN EL TRAMO EN ESTUDIO	Volumen de agua que pasa por el tramo en estudio por unidad de tiempo en una sección normal.	1. Caudales de ingreso obtenido por el método de vertedor de pared delgada de sección rectangular	• l/s • nominal
R2: CONJUNTO DE CAUDALES DE SALIDA EN EL TRAMO EN ESTUDIO		2. Caudales de salida obtenido por el método de vertedor de pared delgada de sección rectangular	• l/s • nominal
R3: GRADO DE DETERIORO DEL CANAL	Los daños en el canal se definen como grietas, deterioro en juntas, deterioro superficial y otros los cuales presentan su definición, nivel de severidad, la forma de medición, sus posibles causas, su evolución probable y reparaciones que pueden realizarse.	3. Grietas longitudinales -Grietas transversales -Grietas de esquina	CM • nominal

2.5. TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

➤ Tipo de investigación

El tipo de estudio para la presente investigación es de tipo: Descriptiva-No experimental y cuantitativo.

➤ Tipo de Análisis

El análisis ha sido descriptivo y cuantitativo.

2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

2.6.1. El universo de la investigación

El universo de la presente investigación comprende, los diversos canales de concreto revestido y de todas las estructuras hidráulicas de esta naturaleza de la ciudad de Jaén.

2.6.2. Localización y ubicación

LOCALIZACION

El canal Chililique está ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Jaén, distrito de Jaén, cuenta con las siguientes coordenadas UTM (Datum WGS 84 uso 17 zona S).

Tabla 2. Coordenadas UTM

Coordenadas UTM		
	Este	Norte
Punto inicial	732944	9344639
Punto final	731935	9344658



Figura 12. Mapa departamental de Cajamarca.

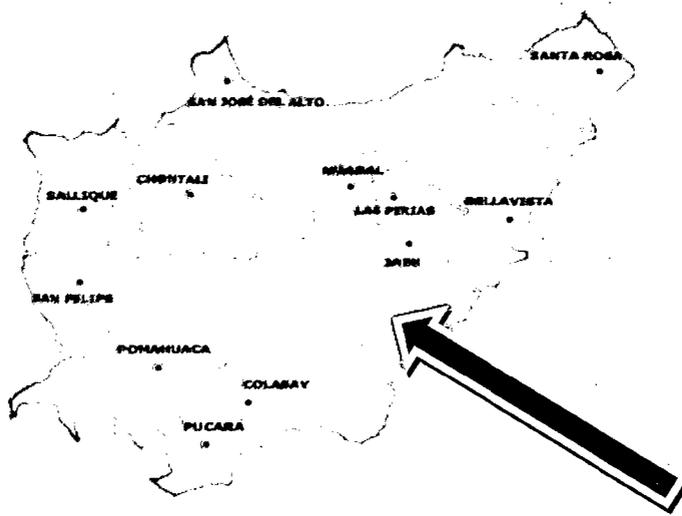


Figura 13. Área de ubicación del proyecto-distrito Jaén

➤ **.Acceso a la zona del proyecto.**

La ciudad de Jaén capital de la Provincia de Jaén, se encuentra a 295 Km. de la ciudad de Chiclayo y a 1,060 Km. de la ciudad de Lima, fácilmente accesible por la vía terrestre asfaltada desde la ciudad de Chiclayo Km. 770, siguiendo al Norte por la carretera Panamericana antigua Km. 870, cruce Olmos - Paso Porculla – Pucará – Chamaya – Jaén, subiendo 1 km hacia la parte alta de la provincia se encuentra el proyecto en estudio.

Estas vías forman parte del mapa de conectividad básica en la región de Cajamarca.

➤ **Factores y acciones ambientales.**

• **Clima.**

Posee un clima cálido todo el año, no en vano se la considera una de las ciudades más calurosa del país. Sus valles bajos son cálidos, temperaturas entre los 30° C. en el día y 22° en la noche. Las zonas altas son templadas y frías, según la altitud. La época de lluvias es de enero a abril.

La precipitación media acumulada anual para el periodo 1964-1980 es 780.9 mm

- Ambiente físico.

a. Relieves y Suelos

En el área de estudio, el relieve topográfico es accidentado, presentando pendientes que se encuentran comprendidas entre el 6% y el 40%.

Los suelos son por lo general son deslizables, de textura variable entre media y fina, Predominan los suelos arcillosos.

b. Recursos Hídricos

El área de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del río Amojú.



Figura 14. Cauce del río Amojú.

- **Precipitación.**

Se produce por diferentes mecanismos. Para la zona la variabilidad de las precipitaciones está en función de la orografía y la altitud, La precipitación media acumulada anual para el periodo 1964-1980 es 780.9 mm.

- **Temperatura.**

Es uno de los parámetros que explican la zonificación y diferencias entre los pisos

ecológicos, pero al mismo tiempo es uno de los elementos que presenta menor variabilidad a lo largo del tiempo y el espacio.

según datos de la Estación Climatológica Jaén, registra una mínima mensual variable entre 17.2 °C a 20.2°C, la temperatura máxima varía entre 30.8 °C a 34.2°C, mientras que el promedio mensual oscila entre los 24.7°C a 26.8°C, siendo la temperatura promedio anual de 25.9°C

- **Evaporación.**

total mensual registrada por la misma estación varía entre 67.61 mm y 114.81 mm, siendo el promedio anual variable entre los 63.84 mm a 112.93 mm

- **Humedad Relativa** a nivel mensual varia entre el 69 % a 77 %, registrando los valores más altos los meses de Marzo a Julio y a nivel anual se registra un promedio del 74%.

- **Medio biológico.**

Flora.-Del punto de vista forestal, la vegetación que cubre los 1 km. Del canal en estudio está compuesto por árboles de mediana altura y pastos.

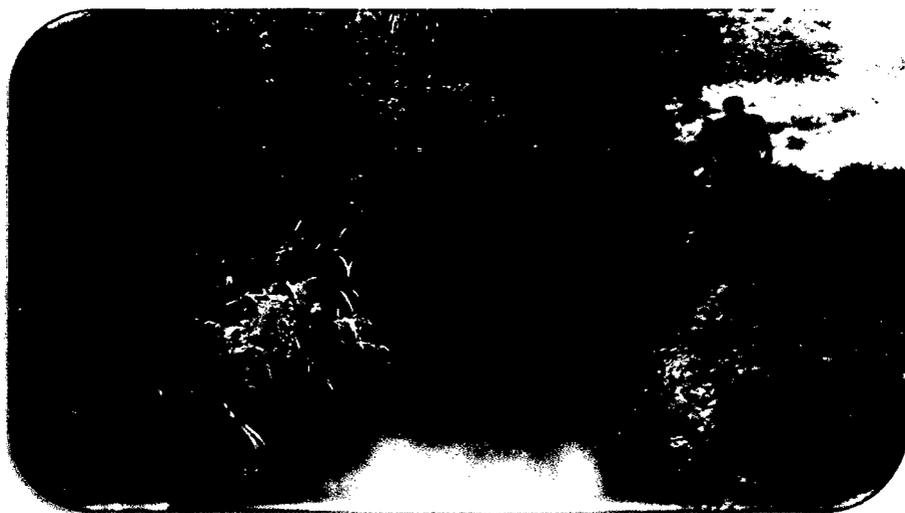


Figura 15. Flora en el canal Chililique

2.6.3. Técnicas, instrumentos e informantes o fuentes para obtener los datos

- La recolección de información, permitirá obtener información sobre el nivel de eficiencia de conducción de agua del canal de riego en estudio. Se realizará a través de toma directa de datos y variables, realizando lo siguiente:
- Ubicamos el tramo más apropiado de canal que fue evaluado (1 km), en la situación más crítica del total de canal de regadío de 6.798 Km.
- Adquirimos las medidas reales de la sección del canal del punto de inicial del tramo y del punto final del tramo
- Diseñamos con las medidas de la sección del canal anteriormente determinadas, 2 vertederos de pared delgada, para calcular caudales de ingreso y caudales de salida.
- Hallamos caudales de ingreso y salida del tramo en estudio, tomando 03 medidas en el punto de inicial (caudal de ingreso), y el punto final (caudal de salida) en un día. realizamos el mismo procedimiento interdiario por el lapso de dos semanas.
- Con los caudales calculamos las eficiencias de conducción de los días de evaluación.
- Una vez determinada las eficiencias de conducción durante el lapso de dos semanas se calculo el promedio para finalmente obtener la eficiencia de conducción del canal de riego Chililique.
- realizamos un registro fotográfico en cada toma de medidas.
- Recolectamos la información para la evaluación del revestimiento y llenado de juntas de dilatación del canal: Permitirá obtener información sobre el estado de revestimiento del canal (fisuras y grietas). Esto realizará a través de observación

directa:

- Evaluamos las principales grietas y fisuras en el tramo del canal de estudio
- Medimos y describimos las principales características de las grietas, fisuras y juntas en mal estado.
- Realizamos un registro fotográfico en todo el tramo en estudio.

2.6.4. Población y muestra

2.6.4.1. Población

En la presente tesis la población se considera el canal de riego chillique en su totalidad, 6789.53 metros.

2.6.4.2. Muestra

Mediante una observación previa de todo el canal y haciendo un análisis del acceso al lugar y las limitaciones para desarrollar el presente estudio se determina que La muestra se considere, 1.00 Km. desde la progresiva ubicada en el km 02+000 hasta la progresiva km 03+000 del canal de riego Chillique la investigación se realizó entre los meses de Enero y Abril del 2013.

2.6.5. Forma de tratamiento y análisis de los datos

Los datos obtenidos para la determinación de la eficiencia de conducción del canal y en la evaluación del revestimiento y el llenado de juntas, serán procesados y analizados en el programa de Microsoft Word y Excel. Tomando en cuenta las fichas de evaluación preparadas para este proyecto de investigación, los cuales se encuentran en los anexos.

➤ **Metodología**

La metodología utilizada consiste en una evaluación de los caudales de entrada y salida en el tramo en estudio y del estado de recubrimiento del canal y el llenado de las juntas. Realizando lo siguiente:

➤ **Calculo de caudal aproximado por el método del flotador**

Calculamos la velocidad superficial:

DISTANCIA =	10.00	m.
-------------	-------	----

TIEMPOS:

T1 = 21.75 Seg.

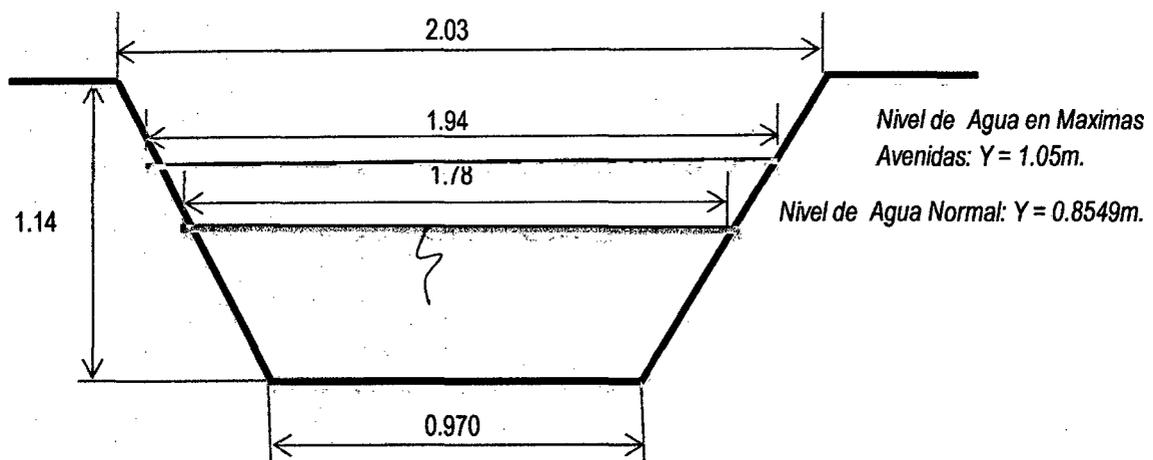
T2 = 23.83 Seg.

T3 = 21.09 Seg.

T4 = 22.86 Seg.

T (Prom.) =	22.38	Seg.
-------------	-------	------

$v_{superficial}$ =	0.4468	m/seg.
---------------------	--------	--------



A =	1.18	m ² .
-----	------	------------------

Finalmente calculamos el caudal:

Q =	0.5252	m ³ /s
-----	--------	-------------------

Q =	525.18	l/s
-----	--------	-----

si sabemos que la velocidad superficial calculada es: 0.4468 m/seg.

para convertir la Vs en Velocida media utilizamo el factor: 0.8

v _{medic}	0.357	m/s
--------------------	-------	-----

Calculo del nuevo caudal:

$$Q = v_{media} * A$$

Area = 1.18 m²

Q =	0.4201	m ³ /s
-----	--------	-------------------

Q =	420.143	l/s
-----	---------	-----

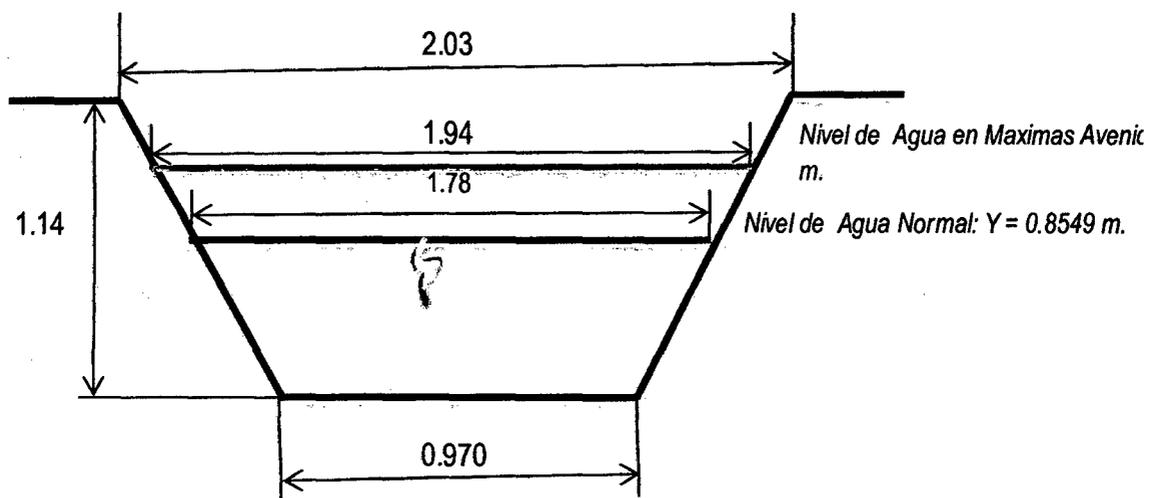
Este caudal nos permitira diseñar el vertedero de pared delgada para caudal de salida

Estos caudales permitieron realizar el diseño de los vertederos.

➤ **Diseño de vertederos de pared delgada de sección rectangular**

Diseñamos y fabricamos vertederos rectangulares de pared delgada con dos contracciones para el punto de inicio y final, utilizando una lámina de acero, con espesor igual a 2.5 mm., utilizando las Dimensiones obtenidas de acuerdo con el ancho del canal de llegada real a utilizar y al volumen de agua del mismo.

- Diseño de vertedor para el punto inicial



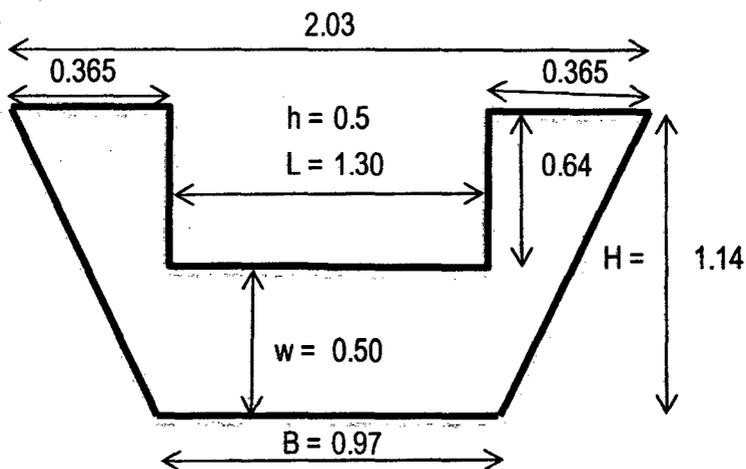
Datos obtenidos, usando el Metodo del Flotador.

$$V_s = 0.3574 \text{ m/seg.}$$

$$A = 1.175 \text{ m}^2.$$

(Dato Obtenido del AutoCad)

$Q = 0.4201 \text{ m}^3/\text{seg.}$



El espesor del vertero fue de 2.5mm, donde $e < 0.5h$

Damos valores a h y L.

$$h = 0.5 \text{ m.}$$

$$L = 1.30 \text{ m.}$$

Ingresamos estos valores y las constantes en la Formula hasta llegar o mas del caudal por metodo del flotador:

Fórmula Para vertederos De Pared delgada (Sección Rectangular)

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot L \cdot h^{2/3} \cdot u$$

Donde:

Q: Caudal que fluye por el vertedero (m³/s)

L: Ancho de la cresta (m)

h: Carga del vertedero (m)

g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s²) (m/s²)

u: Coeficiente de gasto (Para nuestros calculos asumimos un valor de 0.60)

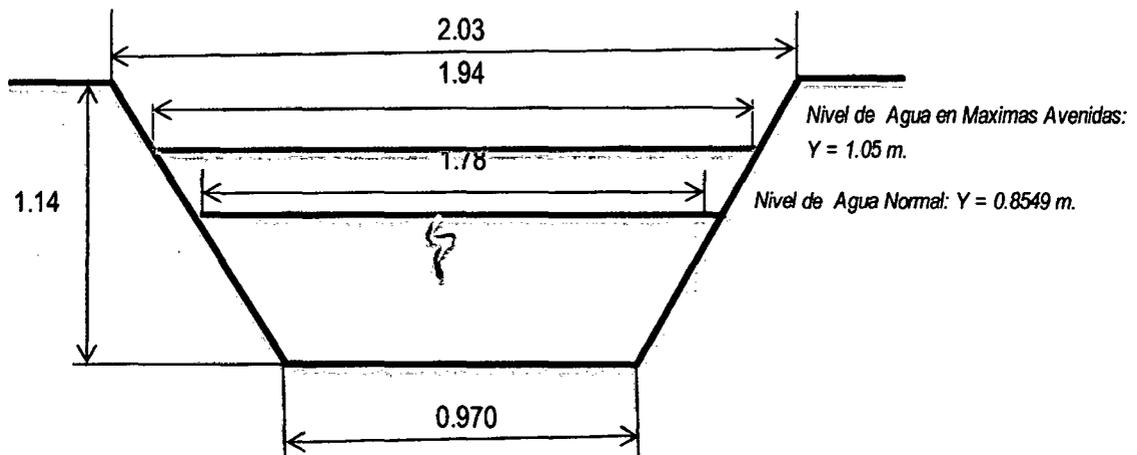
$\mu \approx 0.60$ (libro de soteló)

Reemplazando tenemos:

$$Q = 0.814 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Este valor es mayor al del método por el flotador por lo que está perfectamente sustentado por la inexactitud del método del flotador.

- seño del vertedor para el punto final



Calculo de la velocidad media

V_superficial = 0.4168 m/s

factor = 0.8

Para obtener la velocidad media, a la velocidad encontrada por el metodo del flotador (velocidad superficial) se le multiplica por el factor 0.8, teniendo en cuenta que la velocidad no es uniforme en toda la seccion transversal.

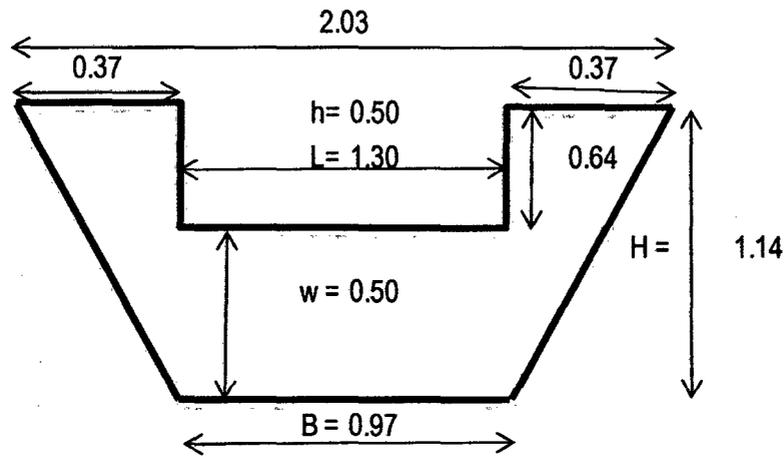
$$v_{media} = 0.3574 \text{ m/s}$$

Calculo del nuevo caudal:

$$Q = v_{media} * A$$

$$\text{Area} = 1.17548 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.4201 \text{ m}^3/\text{s}$$



Para el diseño del vertedero, Damos valores a h y L.

$$h = 0.50 \text{ m.}$$

$$L = 1.3 \text{ m.}$$

Ingresamos valores en la Formula, esperando llegar al caudal inicial o un poco mas:

Fórmula Para vertederos De Pared delgada (Sección Rectangular)

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{(2 * g)} * L * h^{(2/3)} * u$$

Donde:

Q: Caudal que fluye por el vertedero (m³/s)

L: Ancho de la cresta (m)

h: Carga del vertedero (m)
g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s^2) (m/s^2)
u: Coeficiente de gasto
 $\mu \approx 0.60$

Reemplazando tenemos:

$$Q = 0.814 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Este caudal sobrepasa a la velocidad media, este caudal permitió diseñar el vertedero de pared delgada para el punto final.

➤ **Toma de datos**

- ✓ utilizamos los vertederos de pared delgada rectangulares con dos contracciones diseñados para efectuar los aforos, para el caso de la determinación de la eficiencia de conducción del canal en el tramo en estudio.
- ✓ Para el caso de la evaluación del estado del revestimiento del canal se evaluó todo el recorrido para la descripción, medición y evaluación de grietas, roturas y llenado de juntas.

➤ **Recojo de datos del nivel de eficiencia de conducción**

Fijamos el vertedero rectangular utilizando arcilla como sellador para evitar filtraciones en sus bordes que pudieran afectar las lecturas.

Medimos la distancia $d > 4H$, donde se deberán tomar las alturas de carga para realizar los cálculos.

Realizamos 03 lecturas de carga H, en punto de inicio.

BARIACION DE TIEMPO

$$V=L/T$$

$$T=L/V$$

Datos

$$T=1000 \text{ m} / 0.4168 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{superficial}} = 0.4168 \text{ m/s}$$

$$T= 2399.23 \text{ seg}$$

$$L=1000 \text{ m}$$

$$T=39.99 \text{ min}$$

También realizamos 03 lecturas de carga H, en el punto Final con una variación de tiempo de 39.99 min tiempo de recorrido del fluido en una longitud de 1000 metros, lecturas de carga H se realiza interdiario por el lapso de dos semanas.

➤ **Acopio de datos para evaluación de estado de recubrimiento del canal y de las juntas.**

Realizamos el reconocimiento de todo el tramo en estudio, para evaluar en qué punto se encontraban las Grietas, fisuras, roturas y el llenado de juntas.

Para luego describirlas e identificarlas a que tipo y las condiciones en las que se encuentran cada una de los desperfectos.

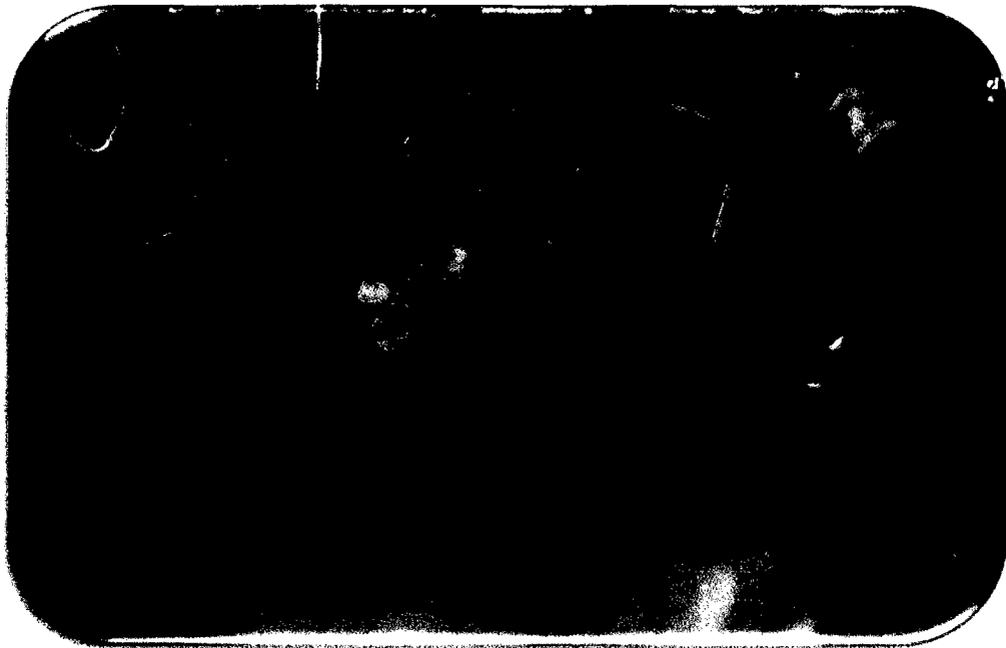


Figura 16. Condición de grieta en una progresiva del canal

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

✚ Datos obtenidos

Los caudales son los hallados desde el lunes 11 de febrero del 2013 hasta el viernes 22 de Febrero del 2013.

TABLA 3: OBTENCION DE CAUDALES DIA 01: lunes 11 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.350	0.356	0.345
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7408	0.7427	0.7392
Caudal de Ingreso **	m ³ /s.	0.589	0.606	0.575
Caudal Promedio de Ingreso	m ³ /s.		0.590	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.315	0.310	0.310
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7297	0.7281	0.7281
Caudal de Salida **	m ³ /s.	0.495	0.482	0.482
Caudal Promedio de Salida	m ³ /s.		0.487	

TABLA 4: OBTENCION DE CAUDALES DIA 02: miercoles 13 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.353	0.350	0.349
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7418	0.7408	0.7405
Caudal de Ingreso **	m ³ /s.	0.597	0.589	0.586
Caudal Promedio de Ingreso	m ³ /s.		0.591	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.310	0.305	0.306
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7281	0.7265	0.7268
Caudal de Salida **	m ³ /s.	0.482	0.470	0.472
Caudal Promedio de Salida	m ³ /s.		0.475	

TABLA 5: OBTENCION DE CAUDALES DIA 03: viernes 15 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.345	0.348	0.349
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7392	0.7402	0.7405
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.575	0.583	0.586
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.		0.581	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.305	0.309	0.306
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7265	0.7277	0.7268
Caudal de Salida **	m3/s.	0.470	0.480	0.472
Caudal Promedio de Salida	m3/s.		0.474	

TABLA 6: OBTENCION DE CAUDALES DIA 04: lunes 18 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.338	0.339	0.342
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7370	0.7373	0.7383
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.556	0.559	0.567
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.		0.560	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.304	0.302	0.303
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7262	0.7255	0.7258
Caudal de Salida **	m3/s.	0.467	0.462	0.465
Caudal Promedio de Salida	m3/s.		0.465	

TABLA 7: OBTENCION DE CAUDALES DIA 05: miercoles 20 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0,970	0,970	0,970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0,500	0,500	0,500
Longitud de Cresta (L):	m.	1,300	1,300	1,300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.352	0.356	0.357
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0,7414	0,7427	0,7430
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0,594	0,606	0,608
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.		0,603	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0,970	0,970	0,970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0,500	0,500	0,500
Longitud de Cresta (L):	m.	1,300	1,300	1,300
Carga Hidraulica (h):	m.	0,315	0,310	0,310
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0,7297	0,7281	0,7281
Caudal de Salida **	m3/s.	0,495	0,482	0,482
Caudal Promedio de Salida	m3/s.		0,487	

TABLA 8: OBTENCION DE CAUDALES DIA 06: viernes 22 de febrero del 2013

DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
1. CAUDAL DE INGRESO				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.353	0.355	0.357
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7418	0.7424	0.7430
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.597	0.603	0.608
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.		0.603	
2. CAUDAL DE SALIDA				
Base del Vertedero (B)	m.	0.970	0.970	0.970
Umbral del Vertedero (W)	m.	0.500	0.500	0.500
Longitud de Cresta (L):	m.	1.300	1.300	1.300
Carga Hidraulica (h):	m.	0.315	0.316	0.318
Coefficiente de Gasto (μ) *	s/u	0.7297	0.7300	0.7306
Caudal de Salida **	m3/s.	0.495	0.498	0.503
Caudal Promedio de Salida	m3/s.		0.499	

* Para el cálculo del coeficiente de gasto (μ) se utiliza la formula descrita por Hegly.

** Para el cálculo del caudal se utiliza la formula descrita en el Cap.1-vertederos de sección rectangular.

Los caudales de inicio y salida obtenidos en las dos semanas de la investigación

sirvieron para calcular las eficiencias promedio por día y la eficiencia del canal en estudio, en su tramo en estudio.

➤ **datos obtenidos del estado del recubrimiento del canal y de las juntas.**

Esta información se presenta en la ficha de evaluación para este proceso, la cual se presenta en la tabla 11. Observando las condiciones de peor estado las roturas.

Tabla 9. Obtención de datos de la condición del revestimiento del canal Chililiqui

NUMERO	PROGRESIVA Km.	TIPO			PROFUNDIDAD (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD (cm)	CODIGO	OBSERVACIONES Y/O GRAFICA
		GRIETA	ROTURA	JUNTAS					
1	2+065.00			X	10	3.5	70	J1	PRESENCIA DE PASTOS
2	2+097.50			x	10	5	38	J2	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
3	2+132.50			x	5	4	20	J3	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
4	2+165.50			X	10	3	50	J4	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
5	2+185.80			x	9	5	65	J5	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
6	2+193.00			x	35	46	85	R1	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
7	2+263.70	X			20	10	55	G1	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
8	2+282.40			x	8	6	45	J6	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
9	2+329.60			x	14	4	50	J7	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
10	2+353.50			x	16	2	42	J8	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
11	2+366.50			x	12	3.5	50	J9	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
12	2+375.00			x	11	4	35	J10	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
13	2+400.00			x	9	4	60	J11	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
14	2+485.00			x	12	5	45	J12	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
15	2+510.00			x	13	4	55	J13	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
16	2+532.70			x	12	5	50	J14	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
17	2+545.80			x	9	4	53	J15	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
18	2+563.00			x	10	3	40	J16	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
19	2+570.00			x	11	4	65	J17	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
20	2+659.50			x	12	3.5	70	J18	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
21	2+713.50			x	10	4	45	J19	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
22	2+725.80			X	12	5	50	J20	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
23	2+753.30			x	10	3.5	70	J21	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
24	2+764.40			x	12	3	60	J22	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
25	2+775.50			x	13	4	80	J23	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
26	2+785.80			x	15	3.5	50	J24	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
27	2+798.20			x	12	4	40	J25	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
28	2+813.50			x	16	2	55	J26	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
29	2+846.50			x	12	3	54	J27	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
30	2+859.80	X			35	25	65	G2	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
31	2+885.00			x	12	5	70	J28	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
32	2+899.50			x	14	3	60	J29	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
33	2+945.40			x	12	2	80	J30	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
34	2+958.60			x	10	3.5	50	J31	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
35	2+973.00			x	14	3	40	J32	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS

3.1. Análisis e interpretación de resultados

3.1.1. Nivel de eficiencia de conducción del canal Chililique

Luego de organizar los datos, se procede a calcular los caudales de entrada y salida por el método de estructuras de medida, por el vertedero de pared delgada de sección rectangular con dos contracciones, para cada punto, y luego se calcula el promedio que será el caudal de entrada y salida para cada día (2 semanas).

Tabla 10. Calculo de caudales promedio de entrada y salida canal Chililique

AFOROS			CAUDALES	
1	2	3	PROMEDIO, QI (m ³ /seg.)	PROMEDIO, QS (m ³ /seg.)
0.5889	0.6056	0.5750	0.58984	
0.4952	0.4824	0.4824		0.48667
0.5972	0.5889	0.5861	0.59071	
0.4824	0.4698	0.4723		0.47482
0.5750	0.5833	0.5861	0.58148	
0.4698	0.4799	0.4723		0.47397
0.556	0.559	0.567	0.56048	
0.467	0.462	0.465		0.46474
0.594	0.606	0.608	0.60282	
0.457	0.488	0.490		0.47828
0.597	0.603	0.608	0.60281	
0.495	0.498	0.503		0.49865

En la tabla 10. Los caudales obtenidos en los cuatro primeros días son menores que los dos últimos días, teniendo como caudal de ingreso y salida máximos 0.6028m³/seg. Y 0.4986 m³/seg. Respectivamente, caudales correspondientes al sexto día de la investigación, dándose por la condición climática inestable en la ciudad de Jaén, y como podemos ver existe un cambio de caudales progresivo lo cual permite observar la adecuación de la metodología utilizada.

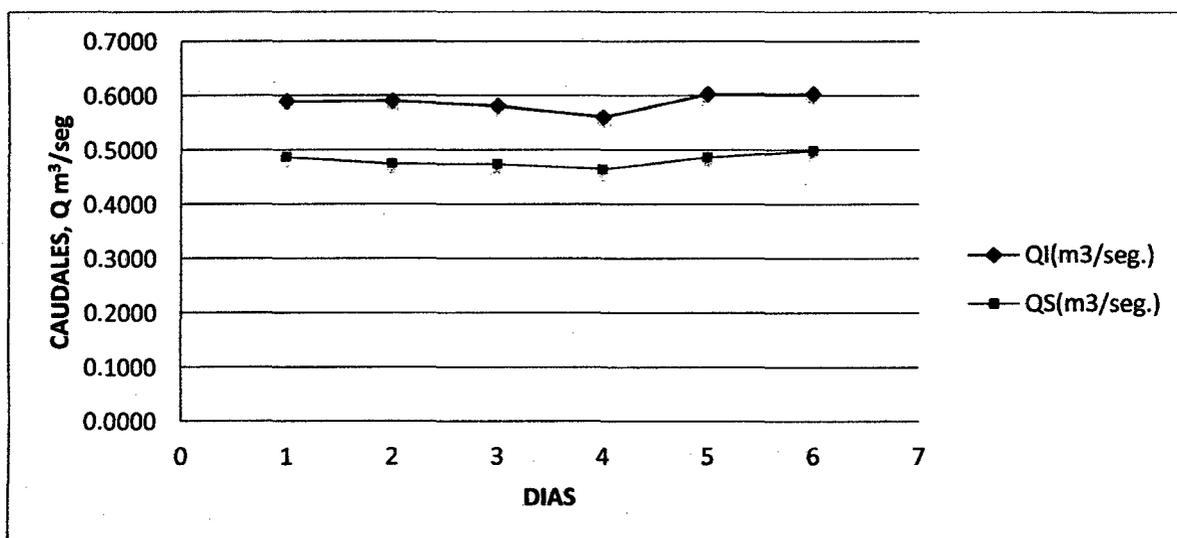


Figura 17. Caudales de entrada y salida del canal Chililique

Como podemos ver en la figura 8, los caudales de ingreso son mayores que los de salida, por lo que podemos deducir que existen perdidas en el recorrido del tramo en estudio, también muestra que los primeros días los caudales son menores que los últimos, y existe nivel de máximo caudal en el sexto día, lo que muestra que ese día el caudal fue mayor, también podemos ver que los caudales de entrada y salida muestran una distribución un poco uniforme sin cambios sinuosos de un día para otro.

Luego de realizar la obtención de los caudales de entrada y salida del canal Chililique, en el periodo de dos semanas interdiario, calculamos la eficiencia de conducción del canal Chililique, en cada uno de los días y finalmente nos llevo a calcular el promedio la cual es la eficiencia de conducción del canal en el tramo en estudio. Este cálculo se presenta en la tabla 11

TABLA 11: EFICIENCIA DE CONDUCCION

DIA	QI (M3/seg.)	QS (M3/seg.)	EFICIENCIA DE CONDUCCION (%)
11/02/2013	0.5898	0.4867	82.51
13/05/2013	0.5907	0.4748	80.38
15/02/2013	0.5815	0.4740	81.51
18/02/2013	0.5605	0.4647	82.92
20/02/2013	0.6028	0.4867	80.73
22/02/2013	0.6028	0.4986	82.72
EFICIENCIA DE CANAL CHILILIQUE			81.80

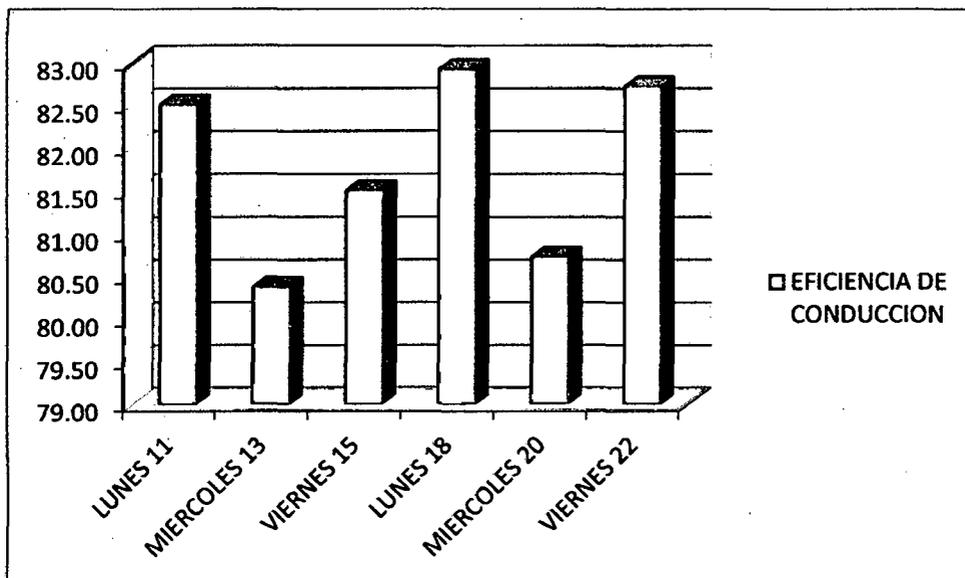


Figura 18. Distribución de eficiencia de conducción

Al observar la figura 9, podemos ver que la eficiencia de conducción más alta se registró en el día lunes 18 (cuarto día) con 82.92% y la más baja el día miércoles 13 de febrero, con 80.38%, ello ocurrió por las condiciones climáticas principalmente y porque algunos días no se pudo tomar los datos simultáneamente.

La toma de datos interdiario y por el lapso de dos semanas permitió conocer más la variación de los caudales, para calcular con mayor precisión la eficiencia de

conducción del canal la cual es 81.80%, se debe a la condición del recubrimiento del canal, presencia de grietas, deterioro de juntas y a la falta de mantenimiento, lo cual nos da pérdidas en el tramo en estudio donde existe mayor cantidad de desperfectos, ello permite ver el valor de realizar un mantenimiento constante en los canales.

3.1.2. Evaluación del estado del recubrimiento del canal Chililique

Al realizar la evaluación del tramo en estudio, de todas las fisuras, grietas, roturas y juntas, se pudieron identificar las más importantes de ellas, las cuales se encontraron a lo largo del tramo, cada una con diferentes condiciones, como se muestra en la tabla 12 y 13.

Tabla 12. Resumen de deformaciones en tramo en estudio

TIPO DE DE DEFORMACION	CANTIDAD
GRIETAS	01
ROTURAS	02
Deterioro de juntas	32
TOTAL	35

Tabla 13. Resumen del estado del revestimiento más importantes

NUMERO	PROGRESIVA Km.	TIPO			PROFUNDIDAD (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD (cm)	CODIGO	OBSERVACIONES Y/O GRAFICA
		GRIETA	ROTURA	JUNTAS					
1	2+065.00			X	10	3.5	70	J1	PRESENCIA DE PASTOS
2	2+097.50			x	10	5	38	J2	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
3	2+132.50			x	5	4	20	J3	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
4	2+165.50			X	10	3	50	J4	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
5	2+185.80			x	9	5	65	J5	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
6	2+193.00		x		35	46	85	R1	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
7	2+263.70	x			20	10	55	G1	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
8	2+282.40			x	8	6	45	J6	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
9	2+329.60			x	14	4	50	J7	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
10	2+353.50			x	16	2	42	J8	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
11	2+366.50			x	12	3.5	50	J9	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
12	2+375.00			x	11	4	35	J10	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
13	2+400.00			x	9	4	60	J11	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
14	2+485.00			x	12	5	45	J12	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
15	2+510.00			x	13	4	55	J13	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
16	2+532.70			x	12	5	50	J14	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS
17	2+545.80			x	9	4	53	J15	PRESENCIA DE PASTOS Y PLANTAS

Como podemos observar se identifico una rotura más importante, que se encuentra en los 2+200 metros, lo cual indica que ese tramos del canal donde se encuentran la mayor situación de deterioro, otro factor importante es la presencia de dos fisuras, en la situación de revestimiento es la condición de las juntas, donde la mayoría tiene presencia de plantas y pastos la que rompe y debilita el concreto, también la situación de deterioro del sello de asfalto y en algunos casos falta de ello, hace que las pérdidas en el tramo en estudio sean muchas y den como resultado la eficiencia de conducción hallado en esta investigación.

3.2. DISCUSIÓN

El nivel de eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique es deficiente, la cual es válida por arrojarnos la evaluación una eficiencia de conducción de 81.80%, la cual está por debajo de la eficiencia de conducción de canales de revestimiento de concreto simple en condiciones nuevas hasta los 20km que tiene un eficiencia aproximada de 95% (García 2008) que se planteo en el marco teórico sobre los Parámetros de eficiencia de conducción de canales revestidos. Esto se debe al mal estado del recubrimiento del canal, las juntas, presencia de grietas, fisuras y a la falta de mantenimiento del canal de riego Chililique.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

4.1. CONCLUSIONES

1. El nivel de eficiencia de Conducción de agua del canal de riego Chililique es deficiente por el estado de las juntas y recubrimiento, pues la eficiencia de conducción del canal como resultado de la investigación es 81.80%.
2. Los caudales de entrada y salida registrados en el lapso de dos semanas del canal de riego Chililique, en el tramo en estudio, no presentaron cambios considerables de una toma de datos a otra.
3. La evaluación del estado del revestimiento del canal de riego Chililique en el tramo en estudio, arroja una pésima condición del estado de recubrimiento del canal por la presencia de roturas, grietas así como presencia de juntas sin concreto asfalto.

4.2. RECOMENDACIONES

1. La facultad de ingeniería civil de la universidad nacional de Cajamarca-sede Jaén en su área de investigación debería motivar la investigación sobre el tema analizado en esta tesis, para tener mayor información y más confiable para la utilización en el ámbito de la ingeniería.
2. Se recomienda a todas las personas que quieran investigar en el tema realizar un estudio completo de todo el recorrido de un canal para obtener datos más confiables y exactos.
3. A Las autoridades directas en la operación de un canal de regadío deberían incluir en sus actividades un plan de involucramiento y capacitación a los beneficiarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE PE, 1974. Julián **Hidráulica de canales** CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- ALAM, M.M. y BHUTTA, M.N. 2004. Comparative evaluation of canal seepage investigation techniques. *Agricultural Water Management* 66 (2004) 65-76
- APARICIO MIJARES, F.J. 1992. **Fundamentos de Hidrología de superficie**. Ed Limusa. México. 302 p.
- CORIA, E. Y PAZOS, J. 1984. **Estudios de Problemas de Revenición en la Cuenca de los Río Diamante – Atuel**. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan
- CHAMBOULEYRON, J.; MIHAJLOVICH, D. MARVHEVSKY, P. 1972. **Evaluación de la eficiencia del uso del agua de riego en el área dominada por el río Mendoza**. UNCuyo. Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza.
- De Ing. Eduardo G. T. 2008 **MANUAL DE PEQUEÑAS IRRIGACIONES**, Lima
- DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN. **Plan Director de Ordenamiento de los Recursos Hídricos – Informe Principal. Volumen II: Cuenca del Río Mendoza. Anexo N° 1: Aguas Subterráneas**. SAGYP y Gobierno de Mendoza. Proyecto PNUD/FAO /ARG/00/008. Mendoza, 2005.
- GRASSI, C. 2001. **Operación y Mantenimiento de Sistemas de Riego**. Serie Riego y Drenaje. RD-44. CIDIAT. Mérida. Venezuela

- KINZLI, K., MARTINEZ, OAD, R. , DAVID, A.P. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agricultural Water Management*, Volume 97, (Issue 6), June 2010, Pages 801-810
- Lux, M. 2010. Medidores de flujo en canales abiertos. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 138p.
- Palacios, E. 2004. La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. México. Colegio de posgraduados Montecillo. 250p.
- Pirqué 2009. Fuente Asociación Canales de Maipo.
- RODRIGUEZ, T. Y VELGAS, M. 1989. Estudio de Revenimiento en la Zona de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan
- Segura J. 1993 trazo y revestimiento de canales, 1ª edición Lima
- SEPASKHAH, A. R. y SALEMI, H. R., 2009. An empirical model for prediction of conveyance Efficiency for small earth canals. Technical note Oct 11, 2009 Dept. of Irrigation, Shiraz University, Shiraz, I. R. of Iran.
- Valverde, J.C. 2007. Riego y Drenaje 1ª edición, Costa Rica
- Villón B.M. 2008, Hidráulica de canales, 2ª edición, Lima.
- VIVAS, J. Y POBLETE, M. 1986. Problemas de Revenición en el Departamento de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan

ANEXOS

A.- HOJAS DE CAMPO

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA DETERMINACION DE CAUDALES DE INGRESO
METODO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA - SECCION RECTANGULAR

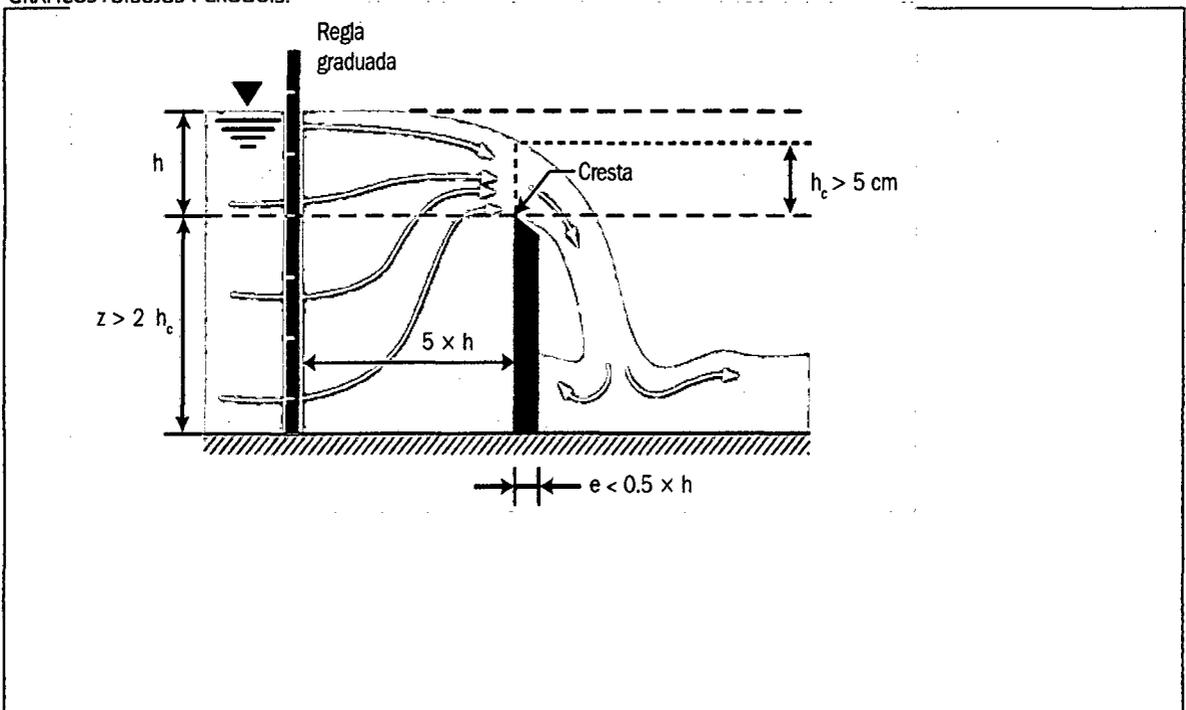
NOMBRE DE CANAL:	CHILIQUE
NUMERO DE FICHA:	01
LUGAR:	PARTE ALTA DE JAEN
FECHA:	
DIA:	
HORA DE TOMA DE DATOS (Q):	

INVESTIGADOR:	NEILI RIMARACHIN MONTENEGRO
---------------	-----------------------------

CONDICION DE TIRANTE: VERTEDEDOR AIREADO () VERTEDEDOR AHOGADO ()

VARIABLES	UNID.	N° DE AFOROS			CONDICION CLIMATICA	OBSERVACIONES
		1	2	3		
CARGAS HIDRAULICAS Y LONGITUD DE CRESTA (Q):						
CARGA HIDRAULICA (H) - QI:	m.					
LONGITUD DE CRESTA (L) - QI:	m.					

GRAFICOS . DIBUJOS Y CROQUIS:



**FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA DETERMINACION DE CAUDALES DE SALIDA
METODO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA - SECCION RECTANGULAR**

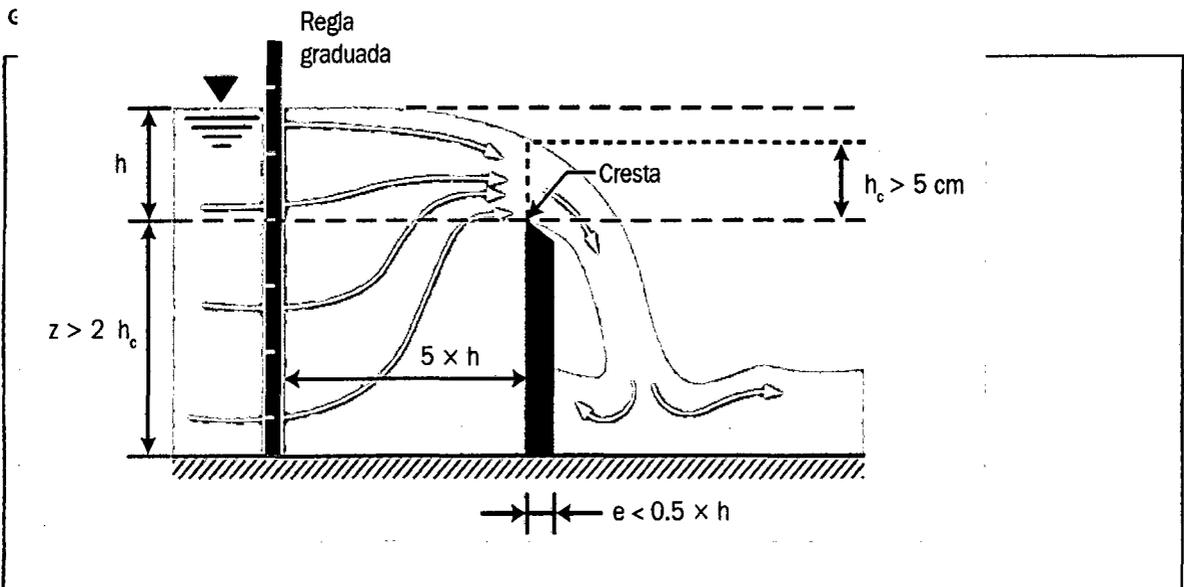
NOMBRE DE CANAL:	CHILUQUE
NUMERO DE FICHA:	01
LUGAR:	PARTE ALTA DE JAEN
FECHA:	
DIA:	
HORA DE TOMA DE DATOS (QS):	

INVESTIGADOR:	NEILI RIMARACHIN MONTENEGRO
---------------	-----------------------------

CONDICION DE TIRANTE:

VERTEDOR AIREADO () VERTEDOR AHOGADO ()

VARIABLES	UNID.	N° DE AFOROS			CONDICION CLIMATICA	OBSERVACIONES
		1	2	3		
CARGAS HIDRAULICAS Y LONGITUD DE CRESTA (QS):						
CARGA HIDRAULICA (H) - QS:	m.					
LONGITUD DE CRESTA (L) - QS:	m.					



FIGURAS



Figura 01. Bocatoma, inicio del canal Chillique.



Figura 02. Rotura N° 01 del canal



Figura 03. Junta asfáltica N° 01 del canal



Figura 04. Equipo de aforo-vertedor rectangular para sección final



Figura 05. Toma de datos, vertedero de pared delgada rectangular



Figura 06. En esta vista se muestra la faja de mantenimiento del canal



Figura 07. Haciendo un recorrido por el canal



Figura 08. Vista longitudinal del canal