

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL  
CANAL DE RIEGO DEL CENTRO POBLADO TARTAR DISTRITO  
DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
RAMIRO NÚÑEZ RAFAEL**

**ASESOR:  
Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ**

**Cajamarca - Perú  
2013**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS:**

A Dios, quien guía e ilumina nuestros pasos y nos protege de todo aquello que nos pueda afectar, por mantenernos y darnos energía para poder cumplir nuestras expectativas.

### **A MIS PADRES:**

**ROSEL Y M. SANTOS**, a quienes amo con todo mi corazón porque representan la más grande manifestación del amor de Dios en mi vida, por brindarnos su afecto y apoyo constante e incluso en los momentos más difíciles, por incentivarnos hacia el camino de la superación.

### **A JEANHNY ARÉVALO:**

Que con su constante apoyo y amor, me acompaña en el difícil camino de la vida. Y para quien mi admiración, respeto y amor siempre permanecerá. Dios te bendiga.

**RAMIRO**

## **AGRADECIMIENTO**

- A nuestros Asesores metodológicos y a mi asesor el distinguido Ing. Luis Vásquez Ramírez, por su orientación y apoyo en la realización de la presente tesis de investigación.
- A la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a cada uno de los catedráticos que nos impartieron sus enseñanzas durante nuestro paso por esta Alma Mater y así contribuir con mi formación como profesional.

**EL AUTOR**

## INDICE DE CONTENIDOS

Ítem.....	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
TABLAS Y FIGURAS.....	vii
LISTA DE SIMBOLOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii

### CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES.....	15
1.1.1. INTERNACIONALES.....	15
1.1.2. NACIONALES.....	18
1.1.3. LOCALES.....	24
1.2. BASES TEÓRICAS.....	27
1.2.1. EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN.....	27
1.2.1.1. PERDIDAS POR INFILTRACIÓN.....	31
1.2.1.2. PERDIDAS POR EVAPORACION.....	34
1.2.1.3. DESPERDICIOS POR FUGAS EN LAS ESTRUCTURAS.....	34
1.2.2. CAUDAL.....	35
1.2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES.....	36
1.2.3.1. MÉTODO DEL FLOTADOR.....	36
1.2.3.3. ESTRUCTURAS DE MEDIDA.....	37

1.2.3.3.1. VERTEDEROS.....	37
a. VERTEDEROS DE PARED DELGADA.....	38
a.1. VERTEDEROS DE PARED DELGADA DE SECCIÓN RECTANGULAR.....	41
1.2.4. JUNTAS EN CANALES DE CONCRETO.....	47
1.2.4.1. JUNTAS DE CONTRACCIÓN.....	47
1.2.4.2. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....	48
1.2.4.3. JUNTAS DE DILATACIÓN.....	48
1.2.5. REVESTIMIENTO.....	49
1.2.6. CALIBRAMIENTO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA DE SECCION RECTANGULAR.....	51
1.2.7. PARÁMETROS DE EFICIENCIAS DE CONDUCCIÓN DE CANALES REVESTIDOS.....	52
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	52

## **CAPITULO II. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	58
2.1.1. SELECCIÓN DEL PROBLEMA.....	58
2.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	61
2.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
2.1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	62
2.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
2.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	63
2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	63
2.3. HIPÓTESIS.....	64

2.4. VARIABLES.....	64
2.4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	65
2.5. TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS.....	65
2.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	65
2.5.2. TIPO DE ANÁLISIS .....	66
2.5.3. LOCALIZACIÓN Y ENTORNO LOCAL .....	66
2.6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	68
2.6.1. EL UNIVERSO DE LA INVESTIGACIÓN .....	68
2.6.2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS E INFORMANTES O FUENTES PARA OBTENER LOS DATOS.....	68
2.6.2.1. TOMA DE DATOS EN CAMPO DE LAS DIMENSIONES REALES DEL CANAL .....	69
2.6.3. POBLACIÓN DE INFORMANTES.....	75
2.6.3.1. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
2.6.4. FORMA DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS.....	75
2.6.5. FORMA DE ANÁLISIS DE LAS INFORMACIONES.....	75
2.6.6. CALCULOS Y PROCEDIMIENTOS .....	76
2.6.6.1. CALCULO DEL CAUDAL APROXIMADO UTILIZANDO EL METODO DEL FLOTADOR.....	76
2.6.6.2. DISEÑOS DE VERTEDEROS DE PARED DELGADA DE SECCION RECTANGULAR .....	79
2.6.7. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN .....	82

### **CAPITULO III: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

3.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	87
3.1.1. PRESENTACION DE RESULTADOS .....	87
EFICIENCIAS DE CONDUCCIÓN .....	87
DIAGNÓSTICO DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL .....	90
3.2. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	92
3.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	94

### **CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES .....	95
RECOMENDACIONES.....	96
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
ANEXOS Y OTROS.....	99

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

1.1. Pérdidas en canales de conducción .....	18
1.2. Resumen de resultados de eficiencias en la cuenca Chili .....	24
1.3a. Canales principales y secundarios .....	25
1.3b. Eficiencia de conducción .....	25
1.3c. Canales principales y secundarios.....	25
1.3d. Eficiencia de conducción .....	26
1.3e. Canales principales y secundarios .....	26
1.3f. Eficiencia de conducción .....	26
1.4. Constante C Según el tipo de revestimiento.....	32
1.5. Constante C Según el tipo de suelo y/o revestimiento .....	33
1.6. Fórmulas experimentales para determinar el coeficiente de gasto $\mu$ aplicable para vertedores rectangulares con contracciones laterales o sin ellas. En el caso de vertedores sin contracciones laterales haga $b=B$ , en las fórmulas.....	45
2.1. Variables, indicadores, unidades usados en la investigación.....	65
2.2. Ubicación Geográfica.....	68
2.3. Obtención de caudales de entrada y salida (Martes 15/01/13).....	82
2.4. Obtención de caudales de entrada y salida (Miércoles 16/01/13).....	83
2.5. Obtención de caudales de entrada y salida (Jueves 17/01/13).....	83
2.6. Obtención de caudales de entrada y salida (Viernes 18/01/13).....	84
2.7. Obtención de caudales de entrada y salida (Sábado 19/01/13).....	84
2.8. Obtención de caudales de entrada y salida (Lunes 21/01/13).....	85
2.9. Obtención de caudales de entrada y salida (Miércoles 23/01/13).....	85

2.10. Obtención de caudales de entrada y salida (Viernes 25/01/13).....	86
3.1. Eficiencia de conducción (Martes 15/01/13) .....	87
3.2. Eficiencia de conducción (Miércoles 16/01/13).....	87
3.3. Eficiencia de conducción (Jueves 17/01/13).....	88
3.4. Eficiencia de conducción (Viernes 18/01/13).....	88
3.5. Eficiencia de conducción (Sábado 19/01/13).....	88
3.6. Eficiencia de conducción (Lunes 21/01/13) .....	89
3.7. Eficiencia de conducción (Miércoles 23/01/13).....	89
3.8. Eficiencia de conducción (Viernes 25/01/13).....	89
3.9. Resultados del diagnóstico del estado del revestimiento del canal .....	90
3.10. Eficiencia de conducción .....	92
3.11. Distribución de eficiencias de conducción por día .....	92
3.12. Resumen del estado del revestimiento del canal.....	93

## FIGURAS

1.1. Esquema hidráulico de un sector de Riego.....	27
1.2. Detalle de las características geométricas de la napa vertiente en un vertedero de pared delgada.....	38
1.3. Detalle del corte de la placa en su extremo superior.....	40
1.4. Esquema de funcionamiento de un vertedero de pared delgada. ....	41
1.5. Vertedero rectangular con dos contracciones .....	43
1.6. Vertedor rectangular con contracciones laterales .....	44
1.7. Detalle de junta de contracción .....	48
1.8. Detalle de junta de dilatación .....	49
1.9. Secciones de canales con diferentes tipos de revestimiento .....	50

1.10. Calibramiento del vertedero de pared delgada .....	51
2.1. Localización del Perú en el contexto Mundial .....	66
2.2. Localización de Cajamarca en el contexto Nacional .....	67
2.3. Ubicación de Baños del Inca en el ámbito local .....	67
2.4. Dimensiones canal (tramo inicial).....	69
2.5. Dimensiones canal (tramo final).....	70
2.6. Vertedero de pared delgada.....	72
2.7. Colocación de la regla graduada.....	73
2.8. Vertedero de pared delgada en funcionamiento .....	73
2.9. Rotura encontrada en una progresiva determinada del canal en estudio .....	74
2.10. Medición de caudal con flotador.....	77
2.11. Dimensiones de diseño de vertedero sección inicial canal Tartara.....	81
2.12. Dimensiones de diseño de vertedero sección final canal Tartara .....	82

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b><i>Símbolo</i></b>	<b><i>Significado</i></b>
B	Ancho del canal de acceso al vertedero
C (u)	Coefficiente de descarga
d	Distancia aguas arriba del vertedero para efectuar lecturas de carga
Ec	Eficiencia de conducción
A	Área
e	Espacio
g	Aceleración de la gravedad
H	Altura de carga alcanzada por el agua
L	Cresta o borde horizontal del vertedero
n	Número de contracciones del vertedero
Q	Caudal
t	Tiempo
V	Volumen

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de conducción del canal de riego del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca-Cajamarca. La toma de datos se realizó entre enero y febrero del 2013, mediante observación directa (de un conjunto de indicios y signos exteriores de los componentes estructurales del canal en estudio), además toma de caudales de entrada y salida. Se utilizó el método de vertedero de pared delgada de sección rectangular para la medición de los caudales de entrada y salida y fichas de datos para evaluar el estado del agrietamiento del canal, evaluándolo y clasificándolo según el tamaño, la longitud y el espesor de la falla encontrada; ya sea en grieta, rotura y estado de las juntas de dilatación construidas en el canal. Se determinó una eficiencia de conducción promedio del canal de 85.42%, considerándose baja en razón de que presenta filtraciones a lo largo del canal, la cual se encuentra por debajo de los valores establecidos para eficiencias de conducción en canales revestidos. Se determinó que el canal de riego se encuentra en proceso de deterioro por las fallas encontradas en el tramo de estudio, esto permitiendo que la mayor pérdida de agua de dicho canal sea por infiltración.

**Palabras Clave:** Eficiencia de Conducción, Infiltración, vertedero, caudal, estado de agrietamiento

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the efficiency of irrigation channel conduction Village Center District Tartar-Cajamarca Inca Baths. Data collection was conducted between January and February 2013, through direct observation (of a set of signs and exterior signs of the structural components of the channel under study), and making input and output flows. Method was used dump rectangular thin wall for measuring the input and output flows and data sheets to assess the state of the channel cracking, evaluating and classifying by size, length and thickness of the fault found, either on crack, break and state of expansion joints constructed in the channel. Was determined average driving efficiency **85.42%** channel, considering the reason that low is leaking along the channel, which is below the values set for driving efficiencies coated channels. It was determined that the irrigation channel is in the process of deterioration by the flaws found in the study reach, this allowing greater water loss from the channel either by infiltration.

**Keywords:** Driving Efficiency, Infiltration, weir, flow, state of cracking

## INTRODUCCIÓN

Conforme han transcurrido los años desde que se inició el riego en el Perú, se ha observado un desarrollo en la economía de las áreas donde funcionan las unidades de riego, ya que ha impulsado el empleo de mano de obra, la producción de alimentos, y en general elevando el nivel de vida del agricultor; pero a pesar de conocer la importancia que el riego representa, el mantenimiento de las infraestructuras de riego y su uso se sigue desestimando.

Se estima que en promedio en los Distritos de Riego del país 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.

La eficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de éste recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas.

Es importante resaltar que en todas las unidades de riego existe una sub-utilización del sistema de conducción, así como una eficiencia de riego muy baja; y la unidad de riego del Centro Poblado Tartar no escapa de ello, ocasionada por desperdicios de agua lo que se origina tanto por el mal estado de la infraestructura como por las pérdidas de infiltración, evaporación, así como también de un deficiente manejo del agua en el ámbito parcelario donde existen

pérdidas por escorrentía superficial, lo que viene a recargar los sistemas de drenaje y por percolación profunda, rebasando así las necesidades de lavado que tienen los suelos.

El área de estudio en la presente investigación estará limitado a determinar la eficiencia de conducción de 1.00 km. del canal de riego del centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca – Cajamarca, con el objeto de proponer posibles soluciones al problema, de manera que se pueda hacer un mejor uso y manejo del recurso agua. Entre los factores incidentes en la baja cobertura del área a regar tenemos: las pérdidas de agua que se dan en la conducción, distribución y aplicación del agua de riego, las diferentes fallas que se encuentran en el canal de riego, en las que predominan las roturas, grietas y juntas mal selladas que favorecen a que haya una pérdida considerable de caudales y por ende una mayor infiltración en el sistema de riego.

Sabidos de la deficiencia de estos factores, el presente trabajo estará enfocado a determinar la eficiencia de conducción del canal de riego, con el objeto de proponer posibles soluciones al problema, de manera que se pueda hacer un mejor uso y manejo del recurso agua.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. ANTECEDENTES**

#### **1.1.1. Internacionales.**

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).

El promedio de eficiencia de conducción en los Estados Unidos es del 78% (ITF, 1979, citado por Kinzli et al, 2010) y significa una infiltración de 104 millones de m<sup>3</sup>/día (Hersch y Fairbridge, 1998). A su vez esa infiltración representa diez veces el uso doméstico en EE.UU. (Hersch y Fairbridge, 1998).

La medición de las filtraciones en los canales de tierra de Pakistán ha demostrado que una considerable cantidad de agua se pierde; es baja la eficiencia de conducción (Alam y Bhutta, 2004). Esa baja eficiencia de conducción en los canales se ha estimado en un intervalo comprendido entre el 15 y el 45% del volumen total derivada a los canales de ese país (Van der Leen y ots., 1990).

Por otra parte, las pérdidas por infiltración de los canales en la ex URSS se han cuantificado entre el 40 al 50 % del agua transportada (Kacimov, 1992).

En la India, la pérdida por infiltración se ha estimado que representa el 45% del total del agua derivada en los sistemas de canales (Sharma y Chawla, 1979).

En el Lower Rio Grande Valley, la infiltración de los canales representa el 30-36% del total del agua desviada (Fipps, 2001). Aunque el autor aclara que la infiltración representa una porción significativa del total de agua derivada, una parte del agua se recupera a través de un sistema de drenaje y puede ser reutilizada en ese distrito.

En el oasis Norte de Mendoza, el 20 % del agua distribuida se infiltra en los canales en terreno natural (Anexo 1. Aguas Subterráneas. DGI. 2005).

En México (Distrito de Riego del Río Mayo en Sonora). 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 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%.

Algunas de las conclusiones de este estudio son:

Las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo a su origen en:

***a) 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) por evaporación:***

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. En efecto, en muchas compuertas radiales sobre desfuegos de canales principales y de laterales cerrados que no se utilizan en un momento dado, el agua que se fuga por el mal estado de los sellos o por las perforaciones que se han producido debido a la corrosión del fierro por falta de conservación, puede representar un porcentaje considerable del agua conducida.

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.

Según (Monge, 2003)

En lo referente a la conducción, se ha encontrado altas pérdidas en canales, con pérdidas que van del 6,9 % al 46 % por km de recorrido, como lo muestra un estudio efectuado en los derivados de la primera sección del río Maule.

**Tabla 1.1. Pérdidas en canales de conducción**

<b>Capacidad del canal</b>	<b>Pérdidas por Km (%)</b>
Entre 4 a 16 m <sup>3</sup> /s	6.9
Entre 1 a 4 m <sup>3</sup> /s	23
Entre 0.5 a 1 m <sup>3</sup> /s	30.8
Menores a 0.5 m <sup>3</sup> /s	45.6

*Fuente: Universidad de Concepción Chile 2003*

Se observa que pérdidas registradas son altas, especialmente en los canales prediales menores a 0.5 m<sup>3</sup>/s. Se pudo establecer que cerca del 40% de los canales en que se realizaron mediciones de eficiencia acusan pérdidas por kilómetro inferiores al 20%. Esto implica que el 60% de los canales pierde más de un 20 % de su caudal por kilómetro recorrido, lo que es muy alto.

### **1.1.2. Nacionales**

El año 2008 se creó la Autoridad Nacional del Agua (Decreto Legislativo N° 997), cuya finalidad es promover las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas, en

el marco de la gestión integrada de los recursos naturales y de la gestión de la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados.

El 31 de marzo del año 2009 se promulga la Ley N° 29338 (Ley de Recursos Hídricos), la misma que en su Art. N° 15, ítem 14, precisa como una de las funciones de la Autoridad Nacional del Agua, el establecer los parámetros de eficiencia aplicables al aprovechamiento de los recursos hídricos, en concordancia con la política nacional del ambiente.

El Art. N° 3 de la Ley N° 29338 establece: Declárese de interés nacional y necesidad pública la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en el manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos para la conservación e incremento del agua, así como asegurar su calidad fomentando una nueva cultura del agua, para garantizar la satisfacción de la demanda de las actuales y futuras generaciones.

El Art. N° 98 de la Ley N° 29338 establece, acerca del Objetivo de la planificación de la gestión del agua: La planificación de la gestión del agua tiene por objetivo equilibrar y armonizar la oferta y demanda de agua, protegiendo su cantidad y calidad, propiciando su utilización eficiente y contribuyendo con el desarrollo local, regional y nacional.

La Autoridad Nacional del Agua ha programado establecer los parámetros de eficiencia aplicables al aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas. Se ha establecido en el Plan Operativo 2009 de la Dirección de Conservación y

Planeamiento de Recursos Hídricos la realización de la Actividad: Aspectos Generales (I), dentro de la cual se ha considerado la Tarea N° 1, denominada: "Evaluación de la Eficiencia del Uso del Agua".

La eficiencia de conducción del área de influencia del proyecto del canal "La Achirana - Ica" varía entre 50 y 70%, asumiéndose para efectos de cálculos el valor promedio de 60% y en consecuencia 40% para las pérdidas básicamente por infiltración en los canales de conducción.(Grajales,1976)

*Según (Oviedo, 2009) a continuación se muestra algunos estudios realizados en la cuenca del río chili en Arequipa con indicadores de eficiencias de conducción en canales revestidos, clasificándolo según los parámetros en alta, media y baja.*

Este estudio se realizó por bloques de riego, Cada bloque en realidad es muy particular porque para el cálculo de las eficiencias depende de muchas variables, como son: revestimiento o no de los canales, estado de mantenimiento de toda la infraestructura (canales, compuertas, obras de arte, etc), ubicación del turno de riego, hora de medición, recorrido de los canales, etc.

## **I. JUNTA DE USUARIOS "CHILI ZONA REGULADA"**

### **a. Bloque "Alto Cural"**

La eficiencia de conducción es de 96.86% en un tramo de 876 m, valor considerado como relativamente *alto* para un canal nuevo revestido con concreto simple. El área bajo riego del bloque es de  $A = 500.925$  has.

**b. Bloque “Bajo Cural”**

La eficiencia de conducción, en el canal madre Bajo Cural, para un tramo de 1.535 km, es 99%, siendo relativamente *alto*, considerando que es un canal revestido recientemente con concreto simple. El área del bloque es de  $A = 1,656.46$  has.

**II. JUNTA DE USUARIOS “LA JOYA NUEVA”**

**a. Bloque “La Cano”**

Los resultados de eficiencia de conducción para el canal La Cano es de 95.32%, el valor de la eficiencia de conducción, es relativamente *alta*, que se sustenta en que el canal es nuevo en su tramo inicial (0+000 – 7+800), y el resto (6,120 m) es mampostería de piedra en buen estado de conservación. El área del bloque es de  $A = 828.0$  has.

**b. Bloque “San Isidro”**

Los resultados de eficiencia de conducción para el canal San Isidro, es de 93.83%. El valor de la eficiencia de conducción, es relativamente *alta*, que se sustenta en que el canal es de 7.750 km de longitud, de los cuales 5.940 km son mampostería de piedra y 1.81 Km es de tubería de PVC. El área del bloque es de  $A = 1,744.32$  has.

**c. Bloque “San Camilo”**

En el canal “J”, se ha calculado la eficiencia de conducción hasta los vasos reguladores VR-1 y VR-2 ubicados en las progresivas 19+507 y 22+520 respectivamente, y esta llega a 69.20%, que es considerada *muy bajo*. Esto se

puede atribuir al mal estado de algunos tramos de mampostería de piedra, al largo recorrido del canal con una mínima pendiente predominante pero también existen otros tramos de fuerte pendiente y con tramos con caídas del km 14+500 al km 22+520, a la falta de mantenimiento y su largo perímetro mojado del canal de sección mayor exposición a la evaporación fuerte de la zona. El área de los 3 bloques (asentamiento 5, 6 y 7 de San Camilo) es de  $A= 1,980.0$  has.

### III. JUNTA DE USUARIOS “CHILI ZONA NO REGULADA”

#### **a. Bloque “Polobaya”**

En el Bloque de riego Poloaya, la eficiencia de conducción es de 92.0% en un tramo de 269.0 m, valor considerado como relativamente *bajo* para un tramo corto. El área del bloque es de  $A= 476.63$  has.

#### **b. Bloque “Acequia Alta Sogay”**

La eficiencia de conducción es de 95.83% en un tramo de 340.0 m, valor considerado como relativamente *bajo* para un canal revestido, se ha notado la presencia de asentamiento y fisuras en el canal provocando pérdidas por filtración en ese tramo.

### IV. JUNTA DE USUARIOS “RIO YURA”

#### **a. Bloque “Uyupampa”**

En el bloque de riego Uyupampa, se obtuvo una eficiencia de conducción de 78.73%, este resultado corresponde a un valor *bajo*, atribuible a los largos recorridos de las tomas de parcelas; asimismo, al regular estado de la infraestructura de riego y las compuertas de las tomas de captación. Por último

los factores climáticos, como la alta temperatura en la zona, ocasiona una alta evaporación del agua de riego. El área del bloque es de  $A = 259.94$  has.

**b. Bloque “Yura Viejo”**

Del bloque Yura Viejo se ha seleccionado el canal La Chacra, los resultados de eficiencia de conducción para el canal La Chacra es de 94.29%. El valor de la eficiencia de conducción, es relativamente **baja**, debido al corto recorrido que tiene el canal hasta la primera toma (128.0 m), la razón de este valor se debe a que el canal ha sido construido sin un buen criterio técnico, especialmente en las curvas. El área del canal es de  $A = 42.00$  has.

**V. JUNTA DE USUARIOS “VALLE DE VITOR”**

**a. Bloque “Sotillo - La Cano “**

El cálculo de la eficiencia de conducción dio como resultado 81.89%, considerado muy baja para un tramo de 891.0 m; valor **medio** debido a que el canal no es revestido, tiene sección irregular de largo perímetro mojado, habiendo sectores de baja pendiente, las tomas rústicas están constituidas por champas, piedras y plásticos; y, a todo esto se debe sumar la falta de limpieza y mantenimiento del canal.

**Tabla 1.2. Resumen de resultados de eficiencias en la cuenca Chilli.**

Junta de Usuarios	Bloque de Riego	Nombre Canal	Eficiencia			
			Conducción	Distribución	Operativa	
Chilli Zona Regulada	Alto Cural	Alto Cural	96.83%	95.35%	93.30%	
	Bajo Cural - Huaranguillo	Bajo Cural - Huaranguillo	99.00%	77.57%	76.62%	
	Tío	Tío	99.00%	84.44%	83.73%	
	Tingo Grande	Tingo Grande	98.00%	66.00%	64.45%	
La Joya Antigua	Base Aérea	Base Aérea			80.94%	
	La Curva	La Curva			84.05%	
La Joya Nueva	La Cano	La Cano	95.32%	83.63%	82.58%	
	San Isidro	San Isidro	93.83%	94.64%	88.89%	
	San Camilo	"J"		69.23%		
Chilli Zona No Regulada	Polobaya	Polobaya	92.00%	60.00%	55.33%	
	Acequia Alta Sogay	Acequia Alta Sogay	95.83%	91.30%	87.50%	
	Paucarpata	Paucarpata			98.07%	
	Cinco Ramos	Acequia Alta		91.30%	95.24%	85.95%
		Acequia Baja		91.89%	94.05%	89.19%
	Huasacache	El Molino			94.39%	
La Estación de Tiabaya					47.25%	
Rio Yura	Uyupampa	Uyupampa	78.73%	83.03%		
	Yura Viejo	La Chacra	94.29%	87.83%	82.86%	
	1 <sup>ra</sup> Pampa - Yuramayo	"B"		91.74%		
Valle de Vitor	Socabón - Filtraciones	Socabón			68.77%	
	La Cano - Soñito	La Cano	81.89%	93.45%	76.53%	

Fuente: Oviedo 2009

### 1.1.3. Locales

En nuestro medio no existen muchos antecedentes en la investigación de la determinación de la eficiencia de conducción de canales de riego, para nuestro caso se está considerando la información que se requiere para la elaboración de proyectos de abastecimiento de agua para riego, los proyectistas calculan la eficiencia de conducción del canal de riego existente para plantear el estado actual de la infraestructura como componente de evaluación en los proyectos de

inversión pública según el SNIP, un ejemplo de ello es la información recolectada en el proyecto “Infraestructura de riego Jesús: Construcción del canal de riego Poma” de la provincia de Cajamarca, en el cual se encontraron las siguientes características en la eficiencia de conducción de diferentes canales.

**Tabla 1.3.a Canales Principales y Secundarios**

CODIGO CANAL	NOMBRE	FUENTE	CLASIFICACION	MARGEN	PROG. (KM)	Q (M3/S)	USUARIOS	AREA SERV. (HECT.)
167	MENDOZA	PACCHA - MIRAFLORES	1ER ORDEN	I	0 + 956	0.01	10	6.00
168	HUARIPATA	PACCHA - MIRAFLORES	1ER ORDEN	I	1 + 058	0.01	20	9.00
169	SALDAÑA	PACCHA - MIRAFLORES	1ER ORDEN	D	1 + 226	0.01	30	8.00
170	NARANJO	PACCHA - MIRAFLORES	1ER ORDEN	I	1 + 657	0.009	20	8.00
171	CANERA	PACCHA - MIRAFLORES	1ER ORDEN	I	1 + 794	0.007	20	7.00

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: “Infraestructura de riego Jesús: Construcción del canal de riego Poma”*

<b>Tabla 1.3.b Eficiencia de Conducción</b>	
CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA
0.010 m <sup>3</sup> /s	0.007 m <sup>3</sup> /s
74.00 %	

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: “Infraestructura de riego Jesús: Construcción del canal de riego Poma”*

**Tabla 1.3.c. Canales Principales y Secundarios**

CODIGO CANAL	NOMBRE	FUENTE	CLASIFICACION	MARGEN	PROG. (KM)	Q (M3/S)	USUARIOS	AREA SERV. (HECT.)
174	CANAL 1	TOMACUCHO	1ER ORDEN	D	2 + 062	0.012	12	8.00
175	CANAL 2	TOMACUCHO	1ER ORDEN	D	2 + 721	0.010	10	10.00
176	CANAL 3	TOMACUCHO	1ER ORDEN	D	3 + 273	0.010	8	8.00

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: “Infraestructura de riego Jesús: Construcción del canal de riego Poma”*

<b>Tabla 1.3.d Eficiencia de Conducción</b>	
CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA
0.012 m <sup>3</sup> /s	0.010 m <sup>3</sup> /s
83.33 %	

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: "Infraestructura de riego Jesús:*

*Construcción del canal de riego Poma"*

**Tabla 1.3.e. Canales Principales y Secundarios**

CODIGO CANAL	NOMBRE	FUENTE	CLASIFICACION	MARGEN	PROG. (KM)	Q (M3/S)	USUARIOS	AREA SERV. (HECT.)
189	ERNESTO CORTEZ	CHAQUICOCHA	1ER ORDEN	D	0 + 027	0.01	7	5.00
190	RICARDO CORTEZ	CHAQUICOCHA	1ER ORDEN	D	0 + 673	0.008	12	7.00
191	NESTOR CORTEZ	CHAQUICOCHA	1ER ORDEN	D	1 + 354	0.007	4	6.00

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: "Infraestructura de riego Jesús:*

*Construcción del canal de riego Poma"*

<b>Tabla 1.3.f Eficiencia de Conducción</b>	
CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA
0.010 m <sup>3</sup> /s	0.007 m <sup>3</sup> /s
74.00 %	

*Fuente: Proyecto de Inversión Pública: "Infraestructura de riego Jesús:*

*Construcción del canal de riego Poma"*

Sacando el promedio de estas eficiencias tenemos que la eficiencia de conducción para la Infraestructura de riego, sería aproximadamente: 78 %, esta eficiencia está referida a canales de riego revestidos de concreto.

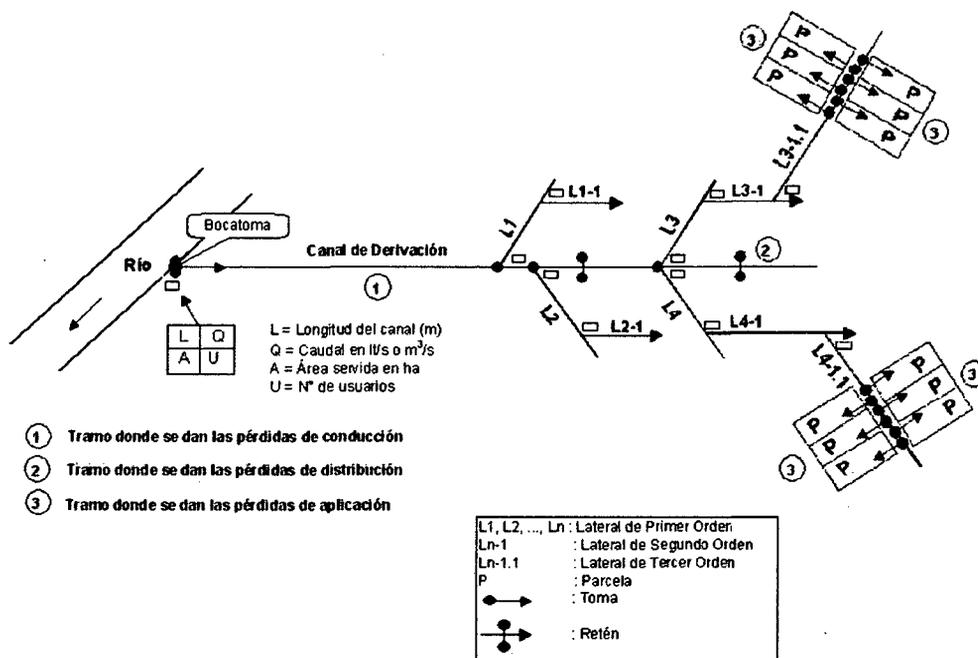
## 1.2. BASES TEÓRICAS

### 1.2.1. EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN:

Según (Castillo, 2010) la eficiencia de conducción, es definida de la siguiente manera:

Eficiencia de conducción, es un concepto utilizado para evaluar las pérdidas de agua en un sistema de riego, como el indicado en la Figura 1.1, con la finalidad de realizar mejoras en la infraestructura hidráulica de un canal, así como mejorar la operación del sistema y disminuir los costos respectivos.

**Figura 1.1: Esquema Hidráulico de un Sector de Riego**



Fuente: (Castillo, 2010)

La eficiencia de conducción permite evaluar el estado de operación y mantenimiento del canal principal o de derivación en el tramo desde la fuente de

abastecimiento hasta que se empieza a distribuir el agua en los canales laterales L1, L2, L3,..., Ln. Es mayor cuanto mejor sea el estado del canal o cauce que conduce el agua. Esto quiere decir lo siguiente:

- ✓ Que, de preferencia sea revestido, para evitar que haya pérdidas por infiltración.
- ✓ Que no tenga roturas, ni en la base, ni en los taludes ni en los bordes.
- ✓ Que no tenga mucho espejo de agua expuesto a la evaporación.
- ✓ Que se deriven los caudales mínimos recomendables técnicamente, para tener velocidad aceptable y no producir sedimentación que reduce la capacidad del canal o erosión que deforma la sección, exponiendo una mayor superficie a la infiltración.

La eficiencia de conducción ( $E_c$ ) está dada por la relación entre la cantidad de agua que entra al canal o tramo de canal de derivación y la cantidad de agua que sale del canal o tramo del canal mediante la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{Q_s}{Q_E} \quad \text{O} \quad E_c(\%) = \frac{Q_s}{Q_E} * 100 \quad (1)$$

$Q_E$ = caudal que entra al canal o tramo del canal.

$Q_s$ = caudal que sale del canal o tramo del canal.

*Según (Palacios, 2004) respecto a la eficiencia de conducción, considera las siguientes definiciones:*

Es la relación entre el volumen de agua realmente utilizado, necesario para la planta y el volumen de agua que se entrega. Tiene distintos valores. La eficiencia es el concepto contrario de la pérdida.

$$E_f = \frac{V}{V_e} \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen útil

Ve = 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:

- ✓ 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%.

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 a estar muy relacionada con la hidrometría del distrito.

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

$$E_{Cond} = \frac{V_p}{V_t} \quad (3)$$

Donde:

Vp: Volumen de agua entregado a nivel de parcela.

Vt: Volumen total derivado de la fuente de abastecimiento.

*Según (Sosa, 1999) respecto a la eficiencia de conducción, considera las siguientes definiciones:*

La eficiencia de conducción representa la capacidad de las obras hidráulicas para conducir el agua hasta las parcelas; y es la relación que existe entre el volumen de agua que se entrega o que se sirve al final de determinado canal y el volumen de agua que se derivó o que entra en la cabecera del canal.

La eficiencia de conducción varía según la estructura y el material utilizado; así tenemos eficiencias que pueden ser del 100% cuando se efectúa en tuberías y de 10 a 20% cuando se efectúa en canales en mal estado y terrenos ligeros,

llegando hasta el 10% cuando el agua no llega al terreno debido a fugas; en canales revestidos con cemento la eficiencia varía de 80 a 90%.

La eficiencia de un canal se puede conocer realizando para ello una serie de aforos. En la programación de riego se requiere conocer la eficiencia del canal o de todo el sistema de conducción, siendo un auxiliar valioso la elaboración de gráficas para que muestren los cambios de la eficiencia con el tiempo, ayudando en esta forma a pronosticar la eficiencia en el futuro.

#### **1.2.1.1. Pérdidas por Infiltración.**

Estas se dan a través de las paredes de los canales, relacionándose a la longitud, al perímetro mojado y sobre todo el estado físico de los canales de riego (Sosa, 1999).

Del total de pérdidas por conducción/las debidas a la infiltración por lo general son las que cobran mayor importancia. El perímetro mojado puede disminuirse no elevando el tirante de operación y concentrándose en áreas pequeñas de recorrido de agua por la red de riego en determinadas épocas cuando sea posible. El mantenimiento de los caudales con régimen continuo asegura un menor volumen de pérdidas (Sosa, 1999).

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.

Según (Herna, 2010)

Los diferentes tipos de revestimientos no garantizan la impermeabilidad del canal, existiendo algunas fórmulas empíricas para estimar las pérdidas por infiltración. A continuación, se expone la Fórmula de Davis y Wilson, una de las más utilizadas:

$$S_L = 0,45 C \frac{P_w L}{4x10^6 + 3650\sqrt{v}} H_w^{1/3} \quad (4)$$

Donde:

$S_L$ = Pérdidas por infiltración (m<sup>3</sup> por longitud del canal por día)

$L$ = Longitud del canal (m)

$P_w$ = Perímetro mojado (m)

$H_w$ = Altura del agua en el canal (m)

$V$ = Velocidad del agua en el canal (m/s)

$C$ = Constante que depende del tipo de revestimiento

**Tabla 1.4. Constante C según el tipo de revestimiento**

Hormigón (10 cm)	:	1
Arcilla en masa (15 cm)	:	4
Asfalto ligero	:	5
Arcilla (7,6 cm)	:	8
Mortero de cemento o asfalto	:	10

Fuente: Herna, 2010

Las pérdidas de agua por infiltración en conducciones naturales, según estudios realizados por Moritz para la US Bureau of Reclamation puede ser expresado mediante la siguiente relación:

$$P_I = 0.0375C \left(\frac{Q}{V}\right)^{0.5} \quad (5)$$

Donde:

PI: Pérdidas por infiltración (m<sup>3</sup>/s/km)

C: Coeficiente de pérdida de agua.

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad media (m/s)

**Tabla 1.5. Constante C Según el tipo de suelo y/o revestimiento**

TIPO DE SUELO	C
Suelo limo arcilloso impermeable	0.08 - 0.13
Suelo limo arcilloso común	0.13 - 0.23
Suelo limo arcilloso arenoso	0.23 - 0.30
Suelo limo arenoso	0.30 - 0.49
Suelo limo arenoso suelto	0.49 - 0.61
Suelo arenoso con grava	0.61 - 0.76
Suelo de grava poroso	0.76 - 0.92
Suelos de grava dominante	0.92 - 1.83
Canales revestidos con concreto	0.1

Fuente: Moritz, 2008

Según (Gustavo, 2011)

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 como:

- ✓ Caudal infiltrado por unidad de longitud , en m<sup>3</sup>/s/km

- ✓ Volumen por unidad de superficie de área mojada del canal y por unidad de tiempo; en  $m^3/m^2/día$ .
- ✓ 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.

#### **1.2.1.2. Pérdidas por Evaporación.**

Estas pérdidas tienen poca importancia debido a que el área evaporante está reducida; en general es la representación del sistema en operación de una propiedad durante el riego por gravedad. La superficie expuesta a la pérdida por evaporación están constituidas por los canales principales y laterales de riego y drenaje, que constituyen aproximadamente del 5 al 10% del área cultivada (Sosa, 1999).

#### **1.2.1.3. Desperdicios por Fugas en las estructuras.**

Reducir los desperdicios de agua es importante, por lo que se recomienda revisar periódicamente los sellos de las compuertas, pues la suma de los

caudales de todas las fugas puede representar un porcentaje bastante alto (Sosa, 1999).

### **1.2.2. CAUDAL**

*Según (CEPIS, 2002)*

El caudal es la cantidad de agua que fluye en una unidad de tiempo por un conducto abierto o cerrado como un río, un riachuelo, una acequia, un canal o una tubería.

El caudal se expresa en volumen por tiempo. De esta manera, se puede decir que el caudal de entrada es de tantos litros por segundo (L/s) o de tantos metros cúbicos por día (m<sup>3</sup>/día).

Las formas más usuales de expresar el caudal son:

- ✓ Metros cúbicos por día (m<sup>3</sup>/día), donde la expresión metros cúbicos representa el volumen y la expresión día, el tiempo.
- ✓ Litros por segundo (L/s), donde la expresión litros representa el volumen y la expresión segundo, el tiempo.
- ✓ Litros por minuto (L/min), donde la expresión litros representa el volumen y la expresión minuto, el tiempo.

Es de suma importancia conocer el caudal (Q) que fluye por una determinada fuente de agua, porque ese caudal fluctúa según las épocas del año y las condiciones meteorológicas. Por ejemplo, en tiempo de lluvias, el caudal es mayor y más pequeño en tiempo de estiaje. Una vez conocidas las fluctuaciones de caudal del curso de agua durante un periodo largo, se puede definir el caudal útil o disponible que puede ser extraído del referido curso.

Para cuantificar el caudal de agua se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V \quad (6)$$

Donde:

Q = Caudal o Gasto (m<sup>3</sup>/s)

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

V = Velocidad media del agua en la sección hidráulica (m/s)

### **1.2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES**

*Según (Lux, 2010) entre los métodos de medición para caudales se tiene los siguientes:*

#### **1.2.3.1. Método del flotador**

*Según (INRENA-PSI, 2005)*

Este método se utiliza cuando no se dispone de equipos de medición; para medir la velocidad del agua, se usa un flotador con él se mide la velocidad superficial del agua; pudiendo utilizarse como flotador, un pequeño pedazo de madera, corcho, una pequeña botella lastrada.

Para el cálculo del caudal se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = v \times A \quad (7)$$

$$v = e / t \quad (8)$$

Donde:

v : Velocidad (m / s)

e : Espacio recorrido por el flotador (m)

t : Tiempo de recorrido del espacio «e» por el flotador (s)

A: Área de la sección transversal

Q: Caudal

Nota: Se recomienda utilizar el método del flotador, para aforos de caudales no menores de 0.250 m<sup>3</sup>/s ni mayores de 0.900 m<sup>3</sup>/s.

### **1.2.3.2. Estructuras de medida**

#### **1.2.3.2.1. VERTEDEROS**

*Según (Lux, 2010) los vertederos y vertederos de pared delgada lo define y clasifica de la siguiente manera:*

La medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal. Los canales de corrientes naturales están también sometidos a cambios debidos a erosión o depósitos. Se pueden obtener cálculos más confiables cuando el caudal pasa a través de una sección donde esos problemas se han limitado.

Los vertederos pueden ser definidos como simples aberturas, sobre los cuales un líquido fluye.

Los vertederos son por así decirlo orificios sin el borde superior y ofrecen las siguientes ventajas en la medición del agua:

- ✓ Se logra con ellos precisión en los aforos
- ✓ La construcción de la estructura es sencilla
- ✓ No son obstruidos por materiales que flotan en el agua
- ✓ La duración del dispositivo es relativamente larga

Los vertederos 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.

**a. Vertederos de pared delgada**

En los vertederos de pared delgada el contacto entre el agua y la cresta es sólo una línea, es decir, una arista.

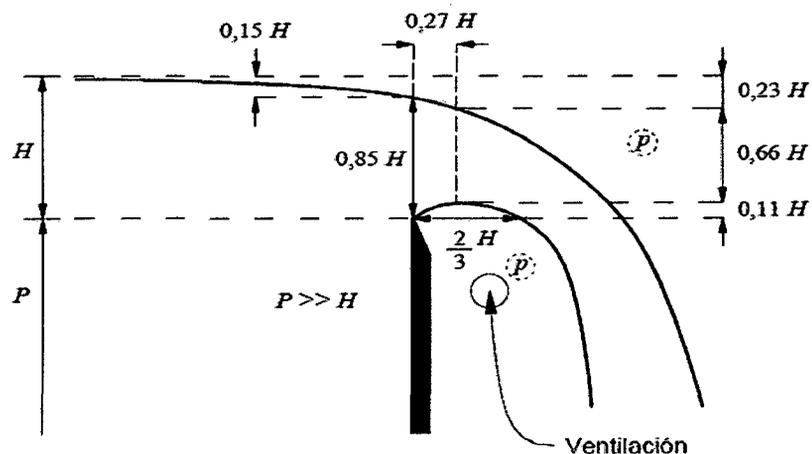
Para que un vertedero se considere de pared delgada no es indispensable que la cresta sea delgadísima. La pared puede tener un cierto espesor (e).

Si:

$$e \leq \frac{2}{3}H \quad (9)$$

Se considera que el vertedero es de pared delgada.

**Figura 1.2: Detalle de las características geométricas de la napa vertiente en un vertedero de pared delgada.**



Fuente: Rocha ,2006

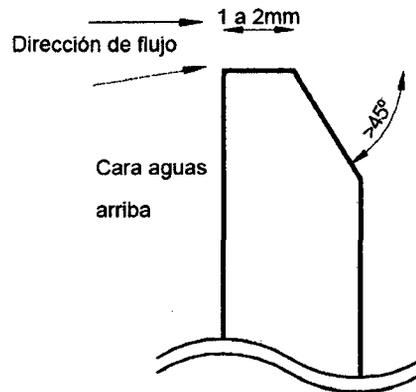
Un vertedero de pared delgada consiste básicamente de una lámina plana, rígida, colocada perpendicular a la dirección del flujo y al fondo del canal. Son dispositivos sencillos y de bajo costo de construcción y mantenimiento. Presentan un amplio rango de medición, cuyo valor máximo puede ser 20 veces 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.

**Figura 1.3: Detalle del corte de la placa en su extremo superior.**



*Fuente: Rocha, 2006*

A partir de desarrollos teóricos se obtiene la siguiente expresión para la velocidad media en la zona de pasaje sobre la placa:

$$v = C_v * \sqrt{(2 * g * h)} \quad (10)$$

Donde:

v: Velocidad media en el pasaje [m/s]

g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s<sup>2</sup>) [m/s<sup>2</sup>]

h: Nivel del agua en el canal, previo a los efectos de la descarga (medido de la base del vertedero) [m]

C<sub>v</sub>: Coeficiente de corrección por las hipótesis asumidas

El pasaje del fluido por el vertedero provoca una contracción del flujo en torno a éste efecto, que puede ser corregido aplicando un coeficiente de contracción a la fórmula anterior. Asimismo, dada la relación existente entre la velocidad media sobre la cresta, el área de pasaje y el flujo total, se obtiene la siguiente expresión:

$$Q = V * S = C_e * S * \sqrt{(2 * g * h)} \quad (11)$$

Donde:

Q: Caudal sobre la placa [m<sup>3</sup>/s]

v: Velocidad media en la sección [m/s]

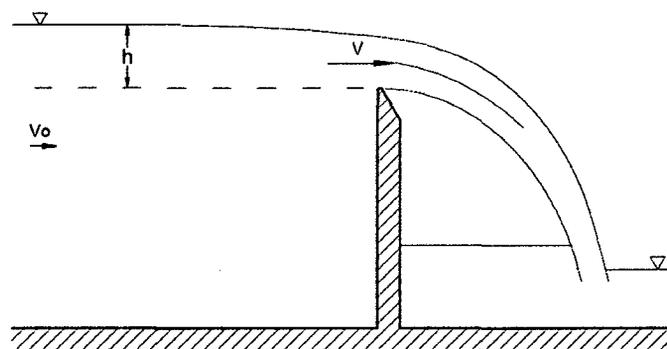
S: Sección transversal de pasaje [m<sup>2</sup>]

g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s<sup>2</sup>) [m/s<sup>2</sup>]

h: Altura del nivel del agua en el canal medida respecto de la base del vertedero en la zona no afectada por la descarga [m]

C<sub>e</sub>: Coeficiente de descarga (incluye efectos contenidos en C<sub>v</sub>, la geometría del sistema y las propiedades dinámicas del agua)

**Figura 1.4: Esquema de funcionamiento de un vertedero de pared delgada.**



Fuente: Rocha, 2006

### **a.1. Vertederos de pared delgada de sección rectangular**

Según (Lux, 2010) los vertederos de pared delgada de sección rectangular lo define de la siguiente manera:

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 %.

La ecuación más utilizada, según De Azevedo y Acosta en el Manual de Hidráulica, es la de Francis:

$$Q = 1.84 (L - (0.1 n H)) H^{3/2} \quad (12)$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m<sup>3</sup>/s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

n = Número de contracciones (0, 1, o 2)

o Vertedero rectangular con dos contracciones

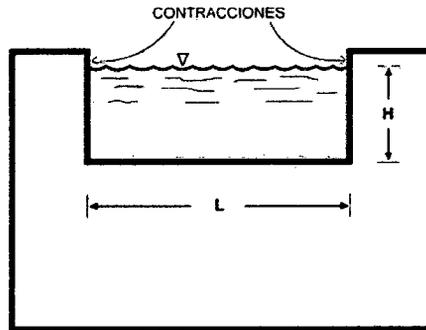
Este es un vertedero con una longitud de cresta (L) menor que el ancho del canal de acceso (B). Teniendo un valor de n = 2, la ecuación queda de la siguiente forma para caudales en m<sup>3</sup>/s

$$Q = 1.84 (L - 0.2 H) H^{3/2} \quad (13)$$

Efectuando la conversión para caudales en l/s:

$$Q = 0.0184 (L - 0.2 H) H^{3/2} \quad (14)$$

**Figura 1.5: Vertedero rectangular con dos contracciones**



Fuente: Lux, 2010

Según (Sotelo, 2006) los vertederos de pared delgada de sección rectangular lo define de la siguiente manera:

Para esta forma de vertedor la ecuación  $x = f(y)$ , es del tipo  $x = b/2$  donde  $b$  es la longitud de cresta. Luego, la ecuación será:

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * \mu * b * h^{\frac{3}{2}} \quad (15)$$

Donde:

Q: Caudal ( $m^3/s$ )

g: Aceleración de la gravedad ( $9.81m/s$ ) ( $m/s$ )

u, c: Coeficiente de descarga

b: Ancho de la cresta (m)

h: Carga del vertedero (m)

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 al sistema ingles de unidades se acostumbra agrupar los términos

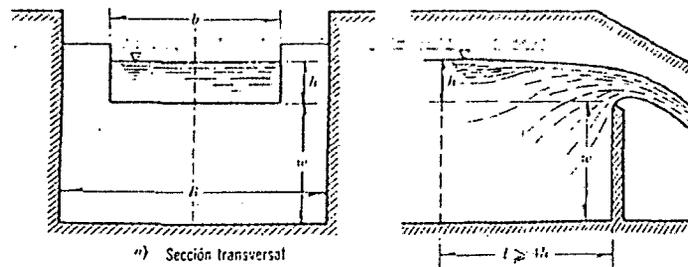
$\frac{2}{3}\sqrt{2 * g * \mu}$ , en un solo coeficiente C, de tal manera que:

$$Q = C * b * h^{\frac{3}{2}} \quad (16)$$

Donde:

$$C = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g * \mu} = 2.952\mu \quad (17)$$

**Figura 1.6: Vertedor rectangular con contracciones laterales**



Fuente: Sotelo, 1997

**Tabla 1.6. Formulas experimentales para determinar el coeficiente de gasto  $\mu$  aplicable para vertedores rectangulares con contracciones laterales o sin ellas. En el caso de vertedores sin contracciones laterales haga  $b=B$ , en las formulas.**

Autor	Fòrmula	Límites de aplicación	Observaciones
Hegly (Ref. 30) (1921)	$\mu = \left[ 0.6075 - 0.045 \left( \frac{B-b}{B} \right) + \frac{0.0041}{h} \right] * \left[ 1 + 0.55 \left( \frac{b}{B} \right)^2 \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right]$	$0.10m \leq h \leq 0.60m$ $0.50m \leq b \leq 2.00m$ $0.20m \leq w \leq 1.13m$	El primer límite de aplicación es el más importante. Para $h/b > 0.13$ tiene mayor precisión que la fórmula SIAS.
Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Suizos (1924) (Ref. 9) (Fòrmula SIAS)	$\mu = \left[ 0.578 + 0.037 \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \left( \frac{b}{B} \right)^2}{1000h + 1.6} \right] * \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{b}{B} \right) \left( \frac{h}{h+w} \right)^2 \right]$	$0.025 \leq h \leq 0.80m$ $b \leq 0.3B$ $w \geq 0.30m$ $\frac{h}{w} \leq 1$ en el caso de contracciones laterales	Para vertedores sin contracciones laterales los límites son: $0.025 \leq h \leq 0.80m$ $0.30m \leq w$ $\frac{h}{w} \leq 1$ Para $h/b \leq 0.13$ , es más precisa que la de Hegly.
Hamilton-Smith	$\mu = 0.616 \left( 1 - \frac{b}{10B} \right)$	$0.075m \leq h \leq 0.60m$ $0.30m \leq b$ $0.30m \leq w$ $h \leq \frac{w}{2}$ $b \leq (B - 2h)$ $\frac{h}{b} \leq 0.5$	Si $B(h-w) < 10bh$ . Se deberá reemplazar en la ecuación el valor de $h$ por $h'$ donde $h' = h + 1.4 \left( \frac{V_o^2}{2g} \right)$ , donde $V_o = \left[ \frac{Q}{B(h+w)} \right]$ es la velocidad de llegada
Francis (Ref. 31)	$\mu = 0.623 \left[ 1 - 0.1n \frac{h}{b} \right] * \left[ \left( 1 + \frac{V_o^2}{2gh} \right)^{\frac{3}{2}} - \left( \frac{V_o^2}{2gh} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$	$0.18m \leq h \leq 0.50m$ $2.40m \leq b \leq 3.00m$ $0.60m \leq w \leq 1.50m$ $b \geq 3h$	$V_o = \left[ \frac{Q}{B(h+w)} \right]$ Velocidad de llegada. $n=2$ en vertederos con contracciones laterales $n=0$ en vertederos sin contracciones laterales
Rehbock (1929) (Ref. 9)	$\mu = \left[ 0.6035 + 0.0813 \left( \frac{h+0.0011}{w} \right) \right] * \left[ 1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{\frac{2}{3}}$	$m = 5/8: 0.80 m \leq b \leq 3.00 m$ $0.06 in \leq w \leq 1.13 m$ $-1$	Vale sólo para vertedores sin contracciones laterales. Es muy precisa y de las más utilizadas, por su sencillez.

Fuente: Sotelo, 1997

Según (rocha, 2006), cita a algunos autores y fórmulas para el cálculo de vertederos de pared delgada de sección rectangular:

❖ **Fórmula de Francis**

$$Q = 1.84 \left[ L - \frac{nH}{10} \right] * H^{\frac{3}{2}} \quad (18)$$

Si además no hubiese contracciones laterales, entonces  $n=0$  y la fórmula de Francis quedaría reducida a:

$$Q = 1.84 * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (19)$$

Para aplicar la fórmula de Francis es necesario recurrir a un método de tanteos y aproximaciones sucesivas, puesto que para calcular  $Q$  se requiere conocer la carga  $H$ .

❖ **Formula de Bazin, ampliada por Hégly**

La fórmula de Bazin – Hégly se aplica a vertederos cuyas cargas están comprendidas entre 0.10m y 0.60m, cuyas longitudes están entre 0.50m y 2.00m y en los que la altura del umbral se encuentra entre 0.20m y 2.00m.

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (20)$$

En donde  $u$  para un vertedero con contracciones laterales es:

$$u = \left[ 0.6075 - 0.045 \left( \frac{B-L}{B} \right) + \frac{0.0041}{H} \right] * \left[ 1 + 0.55 \left( \frac{L}{B} \right)^2 \left( \frac{H}{H+W} \right)^2 \right] \quad (21)$$

Si el vertedero fuese sin contracciones laterales, entonces  $B=L$  y el coeficiente de descarga sería:

$$u = \left[ 0.6075 + \left( \frac{0.00405}{H} \right) \right] * \left[ 1 + 0.55 \left( \frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (22)$$

### ❖ **Formula de la Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos**

Esta fórmula de descarga para vertederos rectangulares en pared delgada fue adoptada en 1924.

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * u * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (23)$$

Coefficiente c para un vertedero con contracciones es:

$$u = \left[ 0.578 + 0.037 \left( \frac{L}{B} \right)^2 + \frac{3.615 - 3 \left( \frac{L}{B} \right)^2}{1000H + 1.6} \right] * \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{L}{B} \right) \left( \frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (24)$$

El coeficiente de descarga u para un vertedero sin contracciones es:

$$u = 0.615 \left[ 1 + \frac{1}{1000H + 1.6} \right] * \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (25)$$

*Según (Castillo, 2010) define a las juntas en canales de concreto de la siguiente manera:*

#### **1.2.4. JUNTAS EN CANALES DE CONCRETO**

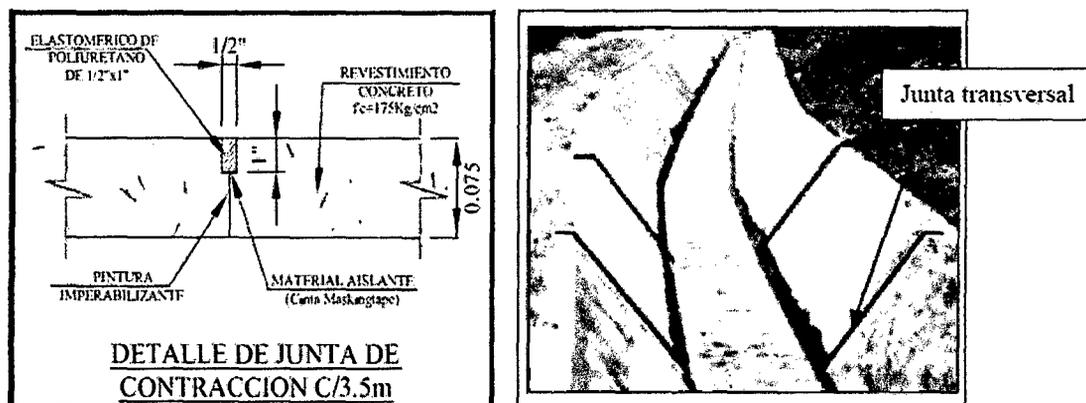
El concreto se expande y contrae con los cambios de humedad y temperatura. La tendencia general es a contraerse y este causa el agrietamiento a edad temprana.

Las grietas irregulares son feas y difíciles de manejar, pero generalmente no afectan la integridad del concreto. Las juntas son simplemente grietas planificadas previamente, que pueden ser creados mediante moldes, herramientas, aserrado y con la colocación de formadores de juntas.

##### **1.2.4.1. Juntas de Contracción:**

Son juntas planas que sirven para prevenir las fisuras (agrietamientos) por disminución del volumen de concreto o esfuerzos de contracción. Normalmente se proyecta cada 3.0 a 3.5 m.

**Figura 1.7: Detalle de Junta de contracción**



Fuente: Castillo, 2010

#### **1.2.4.2. Juntas de Construcción:**

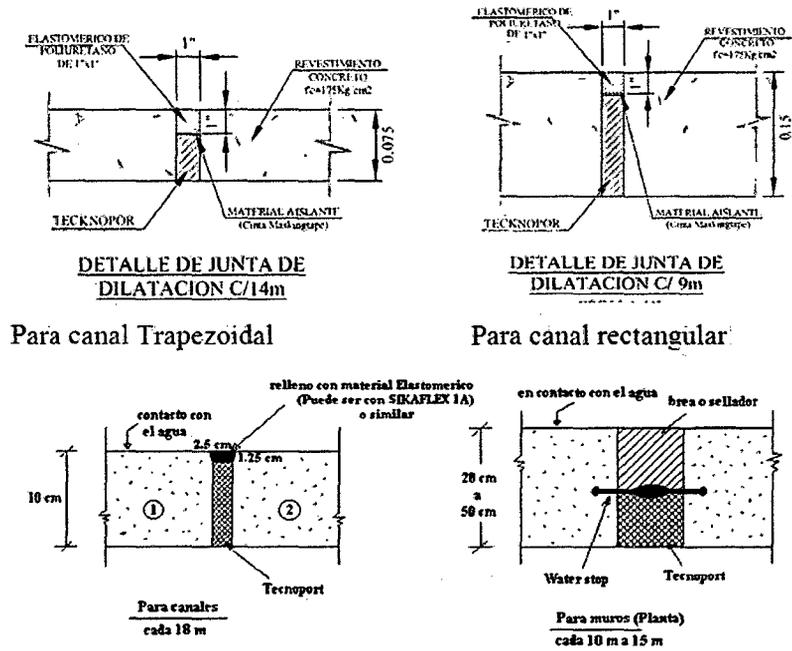
No son juntas de movimiento, se usan para facilitar la construcción, se originan por diferentes bloques de vaciado de concreto, por lo general deben coincidir con los otros tipos de juntas, se recomienda ubicarlas en la zona del cortante mínimo.

#### **1.2.4.3. Juntas de Dilatación**

Son juntas de expansión, se colocan en canales de concreto y en estructuras de concreto armado tales como obras de arte que separan la estructura del canal. En el Perú no se tiene ninguna norma específica para usar o no usar en la construcción de canales, pero normalmente se usa específicamente en proyectos realizados por el Programa Su sectorial de Irrigación (PSI) y otros.

- El espaciamiento entre juntas para canales esta entre los 14 m a 30 m.
- Para muros se colocan entre 10 m a 15 m.
- Las juntas de dilatación con Water Stop (W. S.) se emplean en muros o estructuras de concreto armado, pueden ser de jebe y PVC.

**Figura 1.8: Detalle de Junta de dilatación**



Fuente: Castillo, 2010

Según (Castillo, 2010) presenta las siguientes definiciones respecto a revestimiento de canales:

### 1.2.5. REVESTIMIENTO

El revestimiento del canal nos ayuda a:

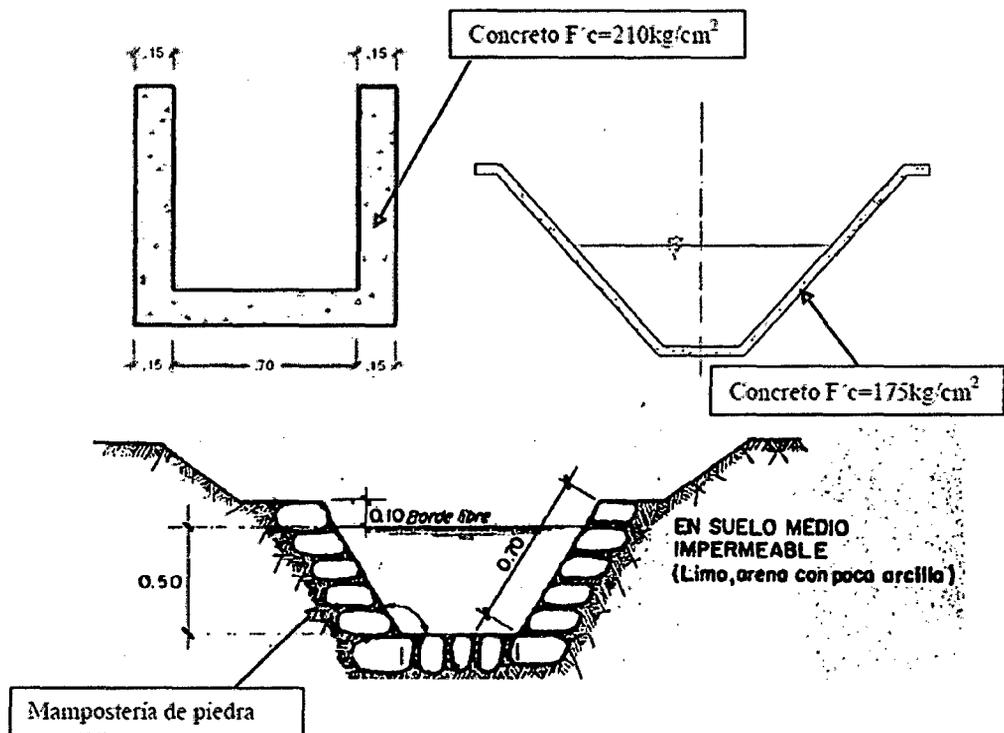
- Evitar la erosión del material
- Disminuye las pérdidas por filtración
- Disminuye las labores de mantenimiento

- Disminuye la rugosidad, por ende aumenta la velocidad del flujo y disminuye el tirante.

En cuanto a los tipos de revestimiento lo mas común es de Concreto y Mampostería de piedra. Cuyos espesores varían entre  $e=5.0$  cm. a 20 cm. Para canales rectangulares los espesores son mayores que para los trapezoidales.

Las resistencias de los concretos más comunes para el revestimiento son:  $F'c=100$  kg/cm<sup>2</sup> para solados,  $F'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> y  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para concreto armado.

**Figura 1.9: Secciones de canales con diferentes tipos de revestimientos**



Fuente: Castillo, 2010

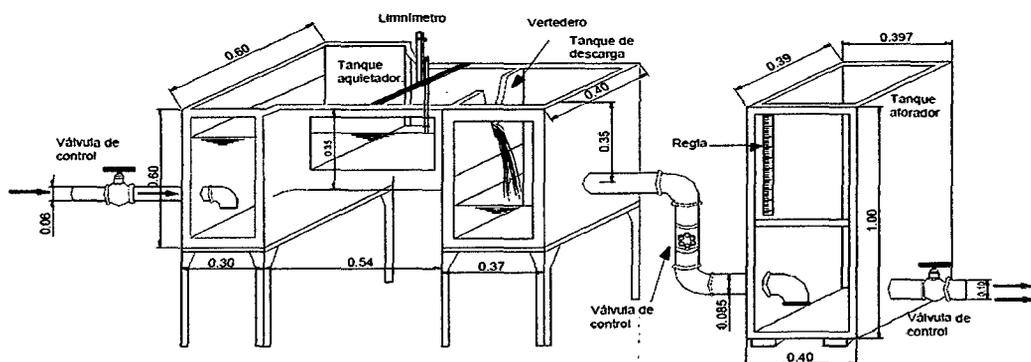
## 1.2.6. CALIBRAMIENTO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA DE SECCION RECTANGULAR.

Para realizar la calibración del vertedero de pared delgada de sección rectangular, se puede utilizar utilizando diversas metodologías como: Calibración por bancos hidráulicos en laboratorio (figura 1.10) y la calibración utilizando métodos in situ dentro de los cuales cabe mencionar los siguientes; método volumétrico (volumen/ tiempo), método del flotador (Velocidad por área), mediante tubo de pitot, método del correntómetro, entre otros.

### **Realización del ensayo**

Para el calibramiento del vertedero de pared delgada de sección rectangular se ha utilizado el método volumétrico, lo cual el caudal encontrado por este método se compara con el caudal obtenido colocando el vertedero de pared delgada de sección rectangular con dos contracciones, con la finalidad de encontrar el factor de corrección, el cual se multiplicara a la formula general (ecuación 15) del cálculo de caudales, para así de esta manera tener el equipo calibrado.

**Figura 1.10: Calibramiento del vertedero de pared delgada**



Fuente: De Azevedo, J. M. y Guillermo Acosta A , 1976

## **1.2.7. PARÁMETROS DE EFICIENCIAS DE CONDUCCION DE CANALES REVESTIDOS**

*Según (Palacios, 2004) respecto a la eficiencia de conducción, considera que:*

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 Km. y de 90%, hasta 50 Km.

## **1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **1.3.1. Fisuramiento o Grietas:**

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

Hendidura o abertura longitudinal, de ancho mayor de 1 mm, que se hace en un cuerpo sólido producido por diferentes causas tales como acciones exteriores o por defectos del material.

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

### **1.3.2. Infiltración:**

Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

*(Castillo, 2010)*

### **1.3.3. Filtración:**

*Según (Castillo, 2010) define a la filtración como:*

Es un proceso de separación de compuestos que consiste en pasar una mezcla a través de un medio poroso o filtro, donde se retiene de la mayor parte de los componentes sólidos de la mezcla. Dicha mezcla son fluidos, que pueden contener sólidos y líquidos (como también gases). Y en nuestro caso:

- ✓ Se producen en canales construidos sobre materiales muy permeables no aptos para una buena conducción del agua. Estos materiales pueden ser desde arenas gruesas en los valles, hasta grava o piedra en las laderas de cerros por donde pasan los canales, que dan origen a filtraciones de gran magnitud, lo que obliga a revestir algunos tramos o cambiar la ubicación del canal.
- ✓ También se producen por orificios o cangrejeras que hacen pequeños animales como reptiles, roedores, que los usan para su hábitat natural y que generalmente no son detectables a simple vista.
- ✓ En canales no revestidos, en general se producen filtraciones, por el solo hecho que un área o sección considerable del canal está en contacto con el agua.
- ✓ En canales revestidos, también se producen filtraciones por las juntas de dilatación mal hecha o deteriorada, por tramos o paños revestidos de canal con materiales de mala calidad, por losas resquebrajadas debido a fallas en el comportamiento del material de relleno de la plataforma.

*Según (Lux, 2010) define a los siguientes términos como:*

**1.3.4. Aforar:**

Medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

**1.3.5. Aforo:**

Acción y efecto de aforar.

**1.3.6. Canal:**

Es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido.

**1.3.7. Caudal :**

Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida.

**1.3.8. Contracción:**

Disminución del área que experimenta la masa fluida, líquida o gaseosa, al salir por un orificio del recipiente en que está contenida.

**1.3.9. Corriente:**

Movimiento de traslación continua y permanente o accidental de las aguas de un canal, río o del mar, en dirección determinada.

**1.3.10. Cresta (L):**

Es el borde horizontal por donde fluye el agua, también llamado umbral.

**1.3.11. Carga (H):**

Es la altura alcanzada por el agua a partir de la cresta del vertedero. Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga H debe ser medida aguas arriba, a una distancia aproximadamente igual o superior a 4H.

**1.3.12. Estructura:**

Elemento o conjunto de ellos que forman parte resistente y sustentante de una construcción.

**1.3.13. Fluido:**

Sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a esfuerzos de corte.

**1.3.14. Flujo:**

Movimiento de un fluido.

**1.3.15. Vertedero:**

Dispositivo utilizado para regular y medir caudales en cauces de ríos y canales abiertos.

*Según la Norma técnica CETESB L4.120, 2012 (Medición de flujo en los cursos de agua a través de vertederos de paredes delgadas), define a los siguientes términos como:*

**1.3.16. Vertedero:**

Es un dispositivo utilizado para controlar y medir pequeños caudales de líquidos en canales abiertos. Consta básicamente de un corte de forma y acabado geoméricamente bien definidos, practicado en una plancha resistente, por la cual escurre el líquido, manteniendo la superficie libre.

**1.3.17. Altura:**

Es la diferencia de cotas entre el fondo del canal de aproximación y la cresta, medida aguas arriba y junto al vertedero. Es lo mismo que la profundidad.

**1.3.18. Carga Hidráulica:**

Es la altura alcanzada por el agua, la cual se considera desde la cota de la cresta o solera del vertedero.

**1.3.19. Coefficiente de descarga:**

Es la relación entre el caudal medido y el caudal calculado teóricamente.

**1.3.20. Contracción de fondo:**

Es la reducción de la altura efectiva del flujo en un vertedero de pared delgada.

**1.3.21. contracción lateral:**

Es la reducción del ancho efectivo del flujo en un vertedero de pared delgada como consecuencia de su angostamiento lateral con relación al ancho del canal de aproximación.

**1.3.22. Cresta de la solera:**

Es el punto más bajo del corte. En el vertedero triangular, la cresta es el vértice del corte; en el vertedero rectangular, la cresta es el borde horizontal del corte.

**1.3.23. Lados:**

Son los bordes verticales del corte en un vertedero rectangular, o los bordes inclinados del corte en un vertedero triangular.

**1.3.24. Lámina de agua:**

Es la vena líquida que transpone el vertedero.

**1.3.25. Ancho del vertedero:**

En un vertedero rectangular, es la longitud del borde horizontal del corte.

**1.3.26. Ancho del curso de agua:**

Es el ancho entre los extremos laterales del curso de agua.

**1.3.27. Velocidad De Aproximación:**

Es la velocidad promedio en un corte transversal situado aguas arriba, a una distancia de hasta 10 veces el ancho de la solera del vertedero.

*Según la Municipalidad Provincial de Jaén, Cosude, Care y Propilas (2006), consideran algunas definiciones que a continuación se presenta:*

**1.3.28. Diagnóstico:**

El diagnóstico, como lo han explicado hasta la saciedad expertos de diferentes disciplinas, es el proceso mediante el cual se llega a descubrir las causas de los problemas que tiene o presenta aquello que se diagnostica, que puede tratarse de cualquier persona, animal, cosa y fenómeno, o de cualquier sistema, al que en general se denomina "sujeto de diagnóstico".

En términos generales, para hacer un diagnóstico casi siempre se realizan las siguientes acciones:

- a) Recolección de información o datos del sujeto de diagnóstico y la realidad circundante.
- b) Análisis de la información recolectada para descubrir los problemas

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Selección del problema**

Los problemas para contar con el agua necesaria ya sea para consumo humano o para el aprovechamiento agrícola siempre ha existido, convirtiéndose en uno de los principales objetivos de desarrollo de comunidades y ciudades.

En la actualidad el agua es todavía más indispensable que para tiempos pasados, porque a sus necesidades naturales ha añadido un sin número de exigencias artificiales para su comodidad, placer y trabajo; por lo que la civilización actual sería inconcebible sin las obras hidráulicas que proporcionan el agua necesaria para sus múltiples y cada vez más exigentes usos y esta necesidad e indispensabilidad se acrecentarán en el futuro.

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).

La mayoría de obras de este tipo que se construyen en las zonas rurales del país, a pesar de haber tenido una buena asesoría técnica en la etapa de ejecución,

terminan en un periodo corto, malográndose y resultando inoperativas. Para superar esta situación y garantizar la eficiencia de estos canales de riego, es importante determinar la eficiencia de conducción en canales.

En la Sierra Sur, uno de los problemas más agudos lo constituye la disminución de la disponibilidad de agua, causada básicamente por pérdidas por conducción y la reducción de los volúmenes de producción de agua en la cuenca alta. En esta labor, las dificultades no sólo se presentan por escasez de agua que es lo más frecuente sino también por superávit del recurso, ya que su mal manejo causa erosión y disminuye la productividad.

En la región amazónica, la investigación sobre técnicas de riego es inexistente, así como falta inversión para que los usuarios puedan mejorar su infraestructura. A pesar de que la distribución es un aspecto crítico en la operación de los sistemas de riego, ésta no se puede mejorar sin una adecuada cultura de riego. Falta capacitación para internalizar el rol e importancia del uso óptimo del agua.

En la Sierra Norte, como son los casos de Cajamarca, La Libertad y Lambayeque, operan sistemas menores. Aquí son frecuentes los problemas de disminución de la cobertura de riego, gran infiltración de agua en los canales de riego, distribución inoportuna a las áreas de riego, interrupción de la dotación de agua a los usuarios, incumplimiento de los turnos y de robo de este recurso entre los mismos agricultores.

([www.cepes.org.pe/pdf/gestion\\_agua\\_para\\_uso\\_agrario-2](http://www.cepes.org.pe/pdf/gestion_agua_para_uso_agrario-2).)

El canal de riego Tartar es un canal revestido de concreto simple y tiene diez años de funcionamiento en este distrito y hasta la fecha no existe ningún estudio referido a la eficiencia de conducción. Específicamente, no se conoce cuáles son los principales factores por los cuales hay una disminución de caudal en las entradas a las parcelas o también llamados caudales de salida. Además no existe un mantenimiento en dicha infraestructura de riego ya que a la actualidad se encuentra en un proceso de deterioro constante sin que las autoridades y los usuarios de la zona hagan algo por mantenerlo en buen funcionamiento.

La captación se encuentra en el río Chonta, la cual es de concreto simple; el caudal de estiaje del río Chonta es de 3 m<sup>3</sup>/seg. El caudal en máximas avenidas para un periodo de retorno de 100 años es de 200 m<sup>3</sup>/seg.

Se ha observado que el canal de riego, ubicado en el Distrito de Baños del inca, no es ajeno a los diversos problemas que se están presentando en el mundo, con respecto a la eficiencia de conducción, por lo que se pretende con el presente estudio tratar de aliviar el desconocimiento que existe sobre el estado en que se encuentran estos sistemas de riego, para que en base a esta información primaria que se recoja, las comunidades y organismos competentes traten de mejorar estos servicios.

El sistema se origina en el río Chonta en donde existe una captación de concreto la cual se encuentra deteriorada por el paso del tiempo; este sistema presenta muchas deficiencias tanto en la conducción del caudal, gestión de las juntas

administradoras y además en la no adecuada operación y mantenimiento, debido a esto presenta bastantes daños en dicho sistema de riego. Por ello la necesidad de determinar la eficiencia de conducción del canal de riego y drenaje existente, detectando las ineficiencias y cuantificando sus efectos, para así uniformizar criterios, técnicas y procedimientos para la formulación, aprobación y actualización del diagnóstico de la infraestructura de riego y drenaje. Tomando en cuenta las medidas o acciones que permiten conocer y precisar, mediante la observación directa de un conjunto de indicios y signos exteriores como son las deficiencias que se está mostrando en la conducción de dicho canal de riego.

### **2.1.2. Formulación del Problema**

***¿Cuál es la Eficiencia de Conducción del canal de riego, del Centro Poblado Tartar - Distrito de Baños del Inca-Cajamarca?***

### **2.1.3. Justificación de la investigación**

La presente investigación se realiza con el propósito de tener conocimiento de la ***eficiencia de conducción del canal de riego*** y así tomar en cuenta las acciones a considerarse y realizarse en la infraestructura del canal de riego y drenaje para prever y mantener sus condiciones óptimas para la conducción de los caudales de agua de riego, así como los que fluyen y son evacuados por el sub sistema de drenaje. Así también, servirá como un aporte o base a considerar para el diseño de otros canales de iguales o similares características y/o condiciones climáticas.

Del mismo modo, servirá de base para realizar otros estudios y servirá de elemento de consulta para estudiantes e investigadores.

La metodología usada será un referente para otros estudios similares, en otros ámbitos.

Los probables usuarios de la información que genere la investigación serán Los Beneficiarios del sistema de riego, del Centro Poblado Tartar, las autoridades Municipales, investigadores y estudiantes.

Además contribuirá para que la comunidad, Municipalidad y organismos encargados de administrar estos servicios asuman nuevas políticas que direccionen hacia la sostenibilidad de este servicio, por tal motivo se considera de relevancia dicha investigación.

#### **2.1.4. Alcances y Limitaciones**

La investigación tiene un alcance referencial para los profesionales que se dedican a la construcción de sistemas de irrigación y en especial para los que desarrollan estudios de diagnóstico y evaluación en obras ejecutadas, en el que se ha podido observar la necesidad de contar con información para desarrollar un diagnóstico de la situación de la eficiencia de conducción de sistemas de irrigación.

El presente trabajo de investigación estará limitado al Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca – Cajamarca, por lo que se determinara la eficiencia de conducción, específicamente enfocado a pérdidas por infiltración; dejando para

un estudio posterior los parámetros subsecuentes que también intervienen y son importantes para determinar la eficiencia de conducción como son: fribor, radios mínimos, tirantes, eficiencia hidráulica de la sección, rugosidades, aportes por lluvias, evaporación.

La investigación se limitará a determinar la eficiencia de conducción de 1.00 km. del canal del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca – Cajamarca; la elección de este tramo se realizó después de haber recorrido el canal en su totalidad y fue por su fácil accesibilidad, por ser el tramo más problemático y por ser un mejor objeto de estudio ya que su tramo inicial se encuentra entre la intersección del canal de riego con la carretera hacia el aeropuerto (cerca del Viaducto la Unión), este tramo estudiado representa el 9.3% de la longitud total del canal que es de 9.33Km. (Ver anexo 05)

## **2.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.2.1. General**

- ✓ ***Determinar la Eficiencia de Conducción del canal de riego, del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca-Cajamarca.***

### **2.2.2. Específicos**

- ✓ Determinar los caudales de entrada y salida del canal de riego, del centro Poblado Tartar en el tramo de estudio.
- ✓ Evaluar el estado de agrietamiento del canal de riego del Distrito de Baños del Inca.

### **2.3. HIPÓTESIS**

La eficiencia de conducción del canal de riego, del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca-Cajamarca, es baja debido a las infiltraciones que se presenta a lo largo del canal.

### **2.4. VARIABLES**

La determinación de la eficiencia considerará las siguientes variables.

#### **Variables independientes:**

- ✓ Caudales de entrada.
- ✓ Caudales de salida.
- ✓ Estado de agrietamiento del canal

#### **Variable dependiente:**

- ✓ Eficiencia de Conducción: Se analiza la pérdida de agua y caudales.

## ESQUEMA DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

### 2.4.1. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

**Tabla 2.1. Variables, indicadores, unidades usados en la investigación.**

Variables	Definición conceptual	Definición operacional		
		Indicadores	Unidades o Categoría	Escalas
<b><u>VARIABLES INDEPENDIENTES</u></b>				
R1: CAUDAL DE ENTRADA	Cantidad de agua que pasa por un lugar (canal) en una cierta cantidad de tiempo.	1. Caudales de salida obtenido por el método de vertedor de pared delgada de sección rectangular	l/s	• Nominal
R2: CAUDAL DE SALIDA	Cantidad de agua que pasa por un lugar (canal) en una cierta cantidad de tiempo.	1. Caudales de salida obtenido por el método de vertedor de pared delgada de sección rectangular	l/s	• Nominal
R3: AGRIETAMIENTO DEL CANAL	Disminuye las pérdidas por filtración	1. Estado de agrietamiento del canal	• Cuadros de evaluación del estado del canal	• Nominal
<b><u>VARIABLE DEPENDIENTES:</u></b>				
R1: EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL CANAL DE RIEGO TARTAR	Es la relación entre el volumen de agua realmente utilizado, necesario para la planta y el volumen de agua que se entrega.	1. Eficiencia de conducción.	• % de pérdidas de conducción	• Nominal

## 2.5. TIPOS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

### 2.5.1. Tipo de Investigación.

El tipo de estudio para la presente investigación es de tipo: Descriptiva, porque consiste, fundamentalmente, en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores. Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o

funciona en el presente.

La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.

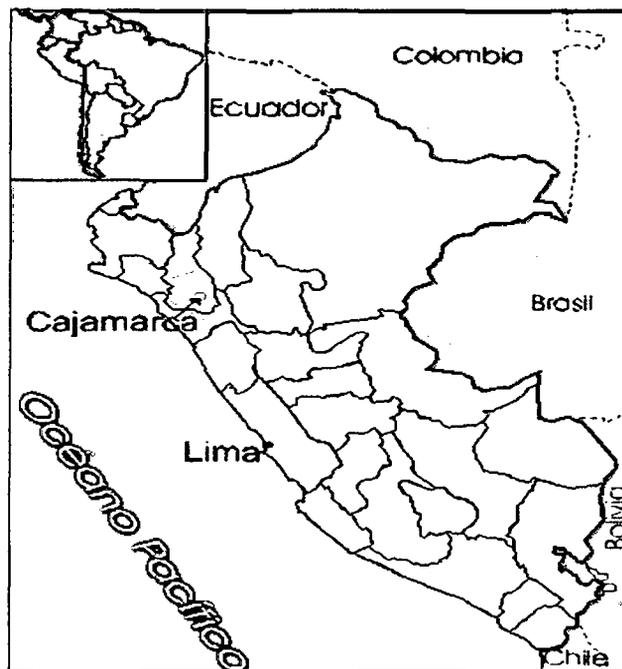
### 2.5.2. Tipo de Análisis.

El análisis ha sido descriptivo, cuantitativo, en una unidad de análisis física.

### 2.5.3. Localización y entorno local.

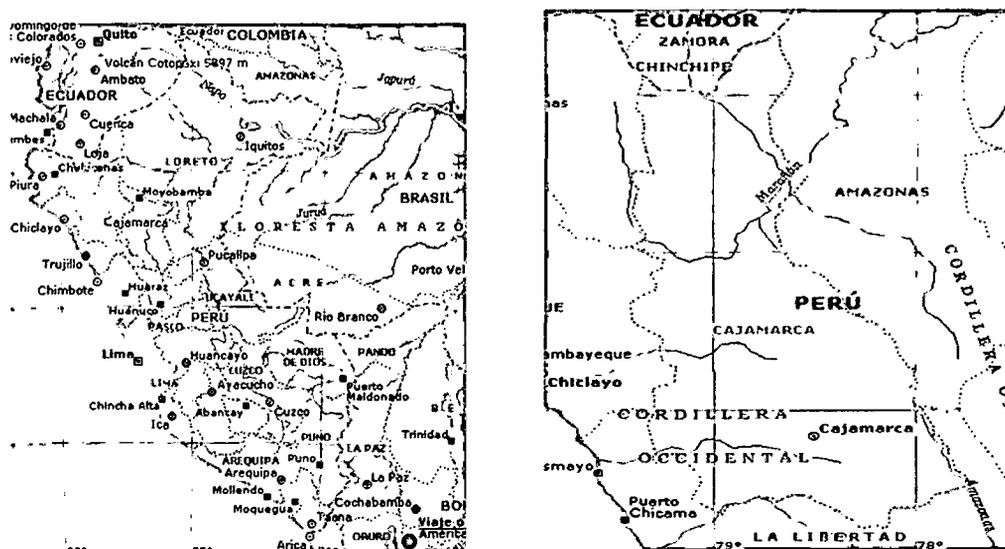
La República del Perú es un Estado andino que se encuentra situado en la parte central y occidental de América del Sur, entre los  $81^{\circ} 19' 35''$  y  $68^{\circ}30' 11''$  de longitud oeste y desde los  $0^{\circ}01'48''$  a  $18^{\circ}21'05''$  de latitud sur.

**Figura 2.1: Localización del Perú en el contexto mundial**



Dentro del Perú, se sitúa Cajamarca, ciudad y capital del departamento homónimo del Perú, en las faldas del cerro Cumbe a 2.750 m de altitud; a 7°7'48" de Latitud Sur 78°28'48" de Longitud Oeste, regada por los ríos Chonta y Mashcón, constituyentes del río Cajamarca

**Figura 2.2: Localización de Cajamarca en el contexto Nacional**



El lugar estudiado se encuentra ubicado en los Baños Del Inca Centro Poblado Tartar.

**Figura 2.3: Ubicación de Baños del Inca en el ambito local**



La localidad de Tartar pertenece políticamente al distrito Los Baños del Inca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca.

**Tabla 2.2. Ubicación Geográfica.**

<b>UBICACIÓN</b>	
Departamento /Región:	Cajamarca
Provincia:	Cajamarca.
Distrito:	Baños del Inca
Localidad:	Tartar
Región Geográfica:	Sierra
Altitud:	2 676 msnm
Latitud	7° 08' S
Longitud	78° 29' O
Coordenadas UTM:	9207308 0778978
Temperatura media anual	12.5 °C
Precipitación media anual	424 mm
Humedad relativa	70 %

## **2.6. DISEÑO METODOLOGICO**

### **2.6.1. EL UNIVERSO DE LA INVESTIGACIÓN**

- ✓ El universo de la investigación comprenderá a los canales de riego revestidos de concreto simple del Centro poblado Tartar Distrito de Baños del Inca – Cajamarca.

### **2.6.2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS E INFORMANTES O FUENTES PARA OBTENER LOS DATOS**

- ✓ **Recolección de información para la determinación de la eficiencia de conducción del canal:** Permitirá obtener información sobre la eficiencia de

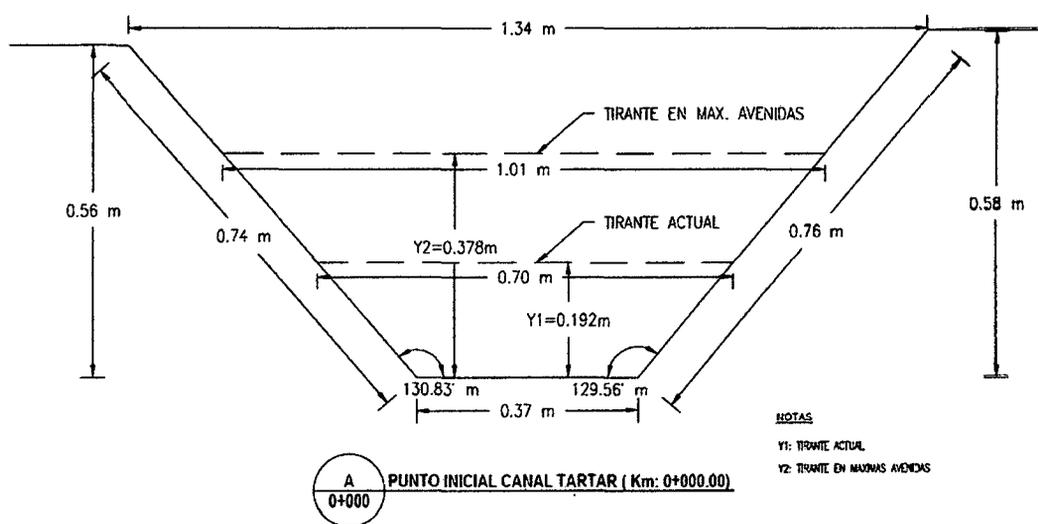
conducción del canal de riego. Se realizará a través de toma directa de datos y variables, realizando lo siguiente:

- ❖ Primero se realizó el recorrido en todo el canal para así observar y ubicar el tramo a estudiar, para lo cual se consideró la mejor accesibilidad a la zona, un tramo que presente las condiciones referidas en el planteamiento del problema.
- ❖ Se obtuvo las medidas reales de la sección del canal del punto de inicio del tramo (caudal de ingreso) y del punto final del tramo (caudal de salida).

### 2.6.2.1. Toma de datos en campo de las dimensiones reales del canal:

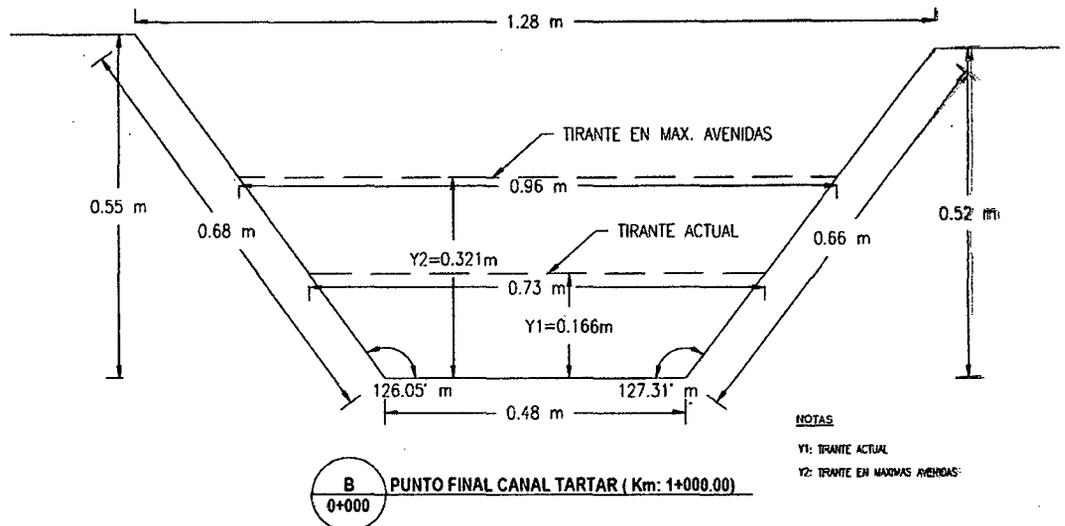
#### ⊙ SECCIÓN INICIAL DEL CANAL TARTAR (PROG:0+000)

**Figura 2.4: Dimensiones canal (tramo inicial)**



## ⊙ SECCIÓN FINAL DEL CANAL TARTAR (PROG: 1+000)

**Figura 2.5: Dimensiones canal (tramo final)**



- ❖ Con las medidas de la sección del canal anteriormente planteada se diseñó los vertederos de pared delgada, uno para el tramo inicial (PROG: 0+000) y otro para el tramo final (PROG: 1+000), la cual servirá para calcular caudales de ingreso y caudales de salida.
- ❖ Con las medidas de la sección del canal anteriormente planteada se diseñó los vertederos de pared delgada, uno para el tramo inicial (PROG: 0+000) y otro para el tramo final (PROG: 1+000), la cual servirá para calcular caudales de ingreso y caudales de salida.
- ❖ Se trató de realizar la calibración por el método volumétrico de obtención de caudales, utilizando los mecanismos planteados por el método varias veces, pero por las condiciones adversas presentes en su realización

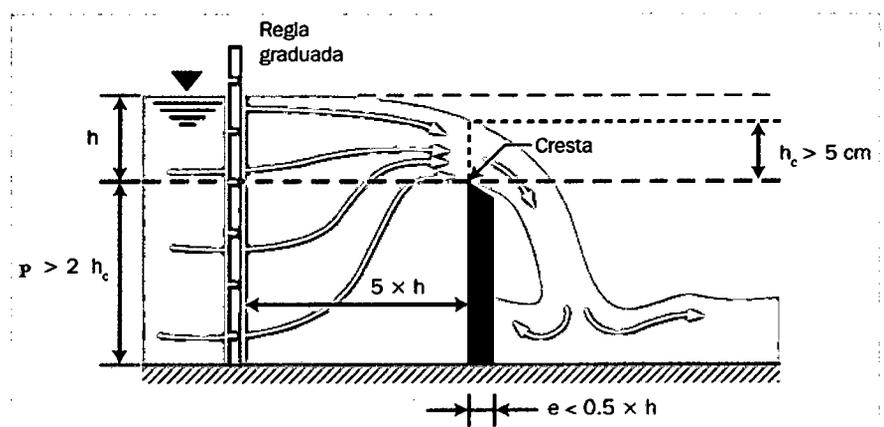
(gran cantidad de caudal que sobrepasaba los 150l/s, dimensiones del canal, entre otros), al no poder encontrar el factor de corrección para dicho calibramiento se utilizó la fórmula tal y como se describe en la ecuación 15 sin ser afectada de algún factor.

- ❖ Determinamos caudales de ingreso y salida del tramo en estudio, tomando 3 medidas en el punto de inicio (caudal de ingreso), y el punto final (caudal de salida) en un día. Del mismo modo realizamos el mismo procedimiento por el lapso de dos semanas diario e interdiario. Haciendo uso de la ficha de toma de datos para esta etapa del estudio.
  
- Para poder considerar el vertedero como de pared delgada, el espesor del mismo debe ser menor que la mitad de la carga de agua ( $e < 0.5 \times h$ ). En caso contrario no podremos utilizar las ecuaciones de cálculo de caudal que se detallan en el marco teórico.
  
- El procedimiento que se sigue para calcular el caudal es medir con una regla la profundidad de la corriente a una cierta distancia antes del vertedero, es decir, averiguar  $P + h$ . En el lugar del vertedero mediremos  $P$ , es decir, la distancia comprendida entre la cresta y el fondo del canal o quebrada. Una vez conocida  $P$ , averiguaremos la carga del vertedero,  $h$ , por diferencia.
  
- A la hora de colocar y emplear un vertedero en la corriente de agua deberemos considerar las siguientes normas (ver Figuras 2.6 y 2.7):
  - El vertedero debe estar ubicado en un tramo bastante recto

de al menos una longitud equivalente a 20 veces  $h$  ( $20 \times h$ ), evitando la presencia de turbulencias aguas arriba.

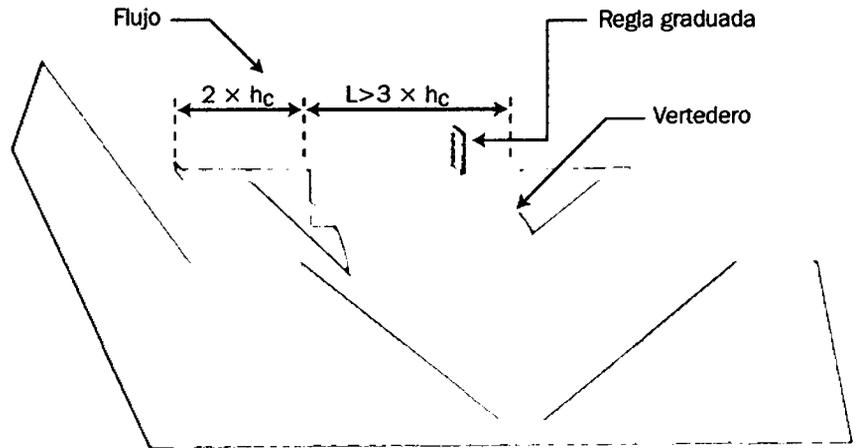
- La cresta del vertedero debe ser bien lisa y estar nivelada. El vertedero debe colocarse perpendicular a la corriente de agua y vertical, sin ninguna inclinación hacia aguas arriba o aguas abajo.
- La regla graduada que colocaremos para medir  $h$  debe estar a una distancia aguas arriba del vertedero equivalente a cinco veces  $h$  ( $5 \times h$ ).
- La distancia de los bordes de la escotadura a la orilla y al fondo del canal debe ser al menos el doble que la carga de agua sobre la cresta ( $2 \times h_c$ ).
- La longitud de la escotadura en vertedero trapeciales y rectangulares debe ser al menos tres veces mayor que la carga sobre la cresta ( $L > 3 \times h_c$ ).
- La carga sobre la cresta debe ser mayor de 5 cm ( $h_c > 5 \text{ cm}$ ).

**Figura 2.6: Vertedero de pared delgada.**



Fuente: Carrazón, 2007

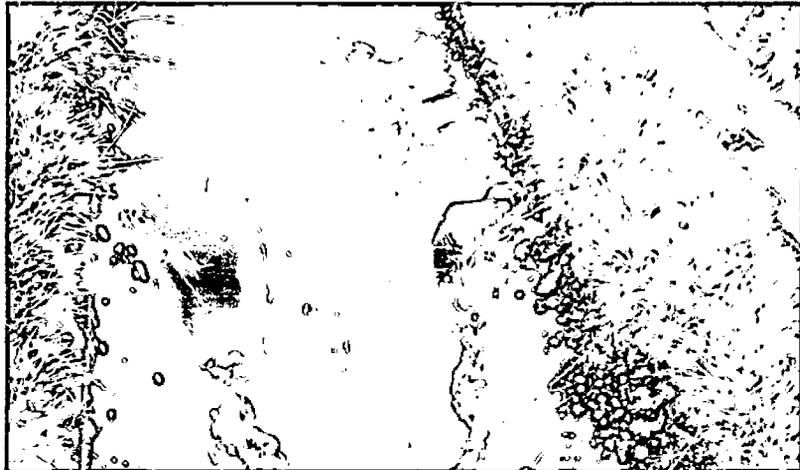
**Figura 2.7: Colocación de la regla graduada.**



*Fuente: Casanova, 2003*

- ❖ Realizar un registro fotográfico en cada toma de medidas.

**Figura 2.8: Vertedero de pared delgada en funcionamiento.**



- ❖ Los caudales obtenidos en las mediciones de cada día nos servirán para calcular la eficiencia de conducción del día en que se ha realizado la toma de datos. Este proceso se repetirá durante el tiempo que dure la toma de datos.
- ❖ Una vez determinada las eficiencias de conducción durante el lapso de

dos semanas se sacara un promedio para finalmente la eficiencia de conducción del canal de riego Tartar.

- ❖ Para la obtención de los resultados finales se realizara el tratamiento estadístico complementario a la investigación.
- ✓ **Recolección de información para la evaluación del agrietamiento del canal:** Permitirá obtener información sobre el estado de agrietamiento del canal (Roturas, grietas y estado de juntas). Esto se realizará a través de observación directa, realizando lo siguiente:
  - ❖ Ubicación de las principales roturas, grietas y juntas en mal estado en el tramo del canal en estudio.
  - ❖ Medición y descripción de la condición de las principales roturas, grietas y juntas en mal estado. Haciendo uso de fichas de evaluación.
  - ❖ Realizar un registro fotográfico en todo el tramo en estudio.

***Figura 2.9: Rotura encontrada en una progresiva determinada del canal en estudio.***



- ❖ Realizar una descripción con cada uno de los detalles de las roturas,

grietas y juntas en mal estado, encontradas en el tramo con sus respectivas fotografías.

### **2.6.3. POBLACIÓN DE INFORMANTES**

#### **2.6.3.1. Población y muestra**

##### **❖ *Identificación De La Población***

- En el presente estudio la población se considera al canal de riego del centro poblado Tartar Distrito de Baños del Inca en su totalidad de 9.33 km.

##### **❖ *Definición Del Tamaño De La Muestra***

- La muestra se considera a 1.00 Km. del canal de riego, del centro poblado Tartar Distrito de Baños del Inca por su mejor accesibilidad a la zona y presentar las condiciones referidas en el planteamiento del problema.

### **2.6.4. FORMA DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

Según la naturaleza, la presente investigación será de tipo Descriptiva, cuantitativo y cualitativo.

### **2.6.5. FORMA DE ANÁLISIS DE LAS INFORMACIONES**

Los datos obtenidos para la determinación de la eficiencia de conducción del canal, serán procesados y analizados con los programas estadísticos Minitab 15, y el Microsoft Excel.

Los datos obtenidos en la evaluación del estado de agrietamiento del canal (roturas, grietas y estado de juntas), serán llenados en fichas por el programa Microsoft Excel.

## **2.6.6. CÁLCULOS Y PROCEDIMIENTOS**

### **2.6.6.1. Calculo del caudal aproximado utilizando el método del flotador:**

Este es un método muy inexacto, pero es simple y nos proporciona al menos un orden de magnitud del caudal. Consiste en medir el tiempo que tarda un flotador (un corcho, un trozo de madera, o cualquier otro material que flote) en recorrer una determinada distancia  $L$ .

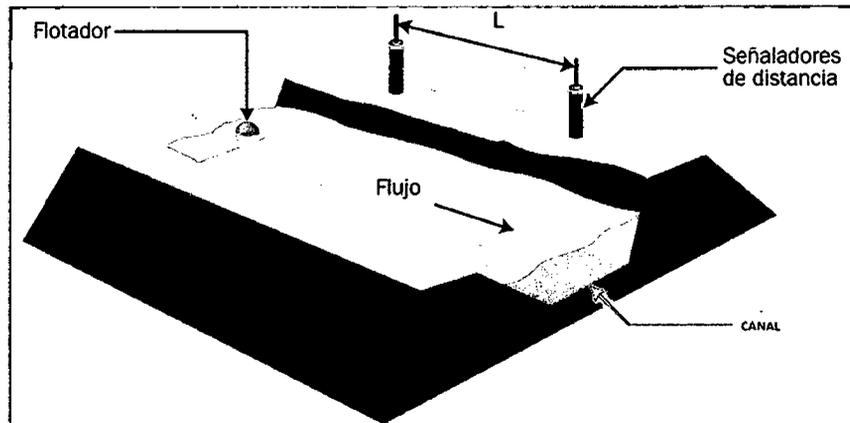
En su forma más sencilla, el procedimiento que debe seguirse es el siguiente:

- Se selecciona un tramo del canal que sea recta y de sección más o menos uniforme.
- Se sitúan dos marcas a una distancia  $L$  de 10 metros en función del tamaño del canal (a mayor tamaño, mayor distancia).
- Se tira el flotador a una distancia antes de la primera marca igual a la mitad de  $L$  (es decir, si las marcas están separadas por ejemplo 10 m, tiraremos el flotador 5 m antes de la primera marca).
- Con la ayuda de un cronómetro, medimos el tiempo (en s) que

transcurre en recorrer la distancia entre ambas marcas.

- Repetimos la medición tirando el flotador otras cuatro veces en diferentes lugares a lo ancho del canal (ver Figura 2.10).

**Figura 2.10: Medición de caudal con flotador.**



Fuente: Casanova, 2003

✦ **Formulas a emplear**

$$Q = A \times v \quad (8)$$

$$v = e / t \quad (9)$$

Donde:

v : Velocidad (m / s)

e : Espacio recorrido por el flotador (m)

t : Tiempo de recorrido del espacio «e» por el flotador (s)

A: Área de la sección transversal

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s, l/s)

✦ **Espacio recorrido por el flotador (e)**

$$e=10\text{m}$$

✦ **Tiempo de recorrido del espacio por el flotador (t)**

TOMAS DE TIEMPOS	
N°	t (s)
1	20.65
2	21.00
3	20.45
4	21.34
5	18.27
PROMEDIO	<b>20.342</b>

✦ **Cálculo de la velocidad superficial**

$$v = \frac{e}{t}$$

$$v = \frac{10}{20.342} = 0.491\text{m/s}$$

✦ **Cálculo del área de la sección transversal**

$$A = 0.101\text{m}^2 \text{ (Dato obtenido del AutoCAD)}$$

✦ **Cálculo del caudal**

$Q_f = 0.101 * 0.49 \text{ m/s}$  (Caudal encontrado por el método del flotador)

$$Q_f = 0.04959\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_f = 49.59\text{l/s}$$

Nota: el caudal aproximado obtenido por el flotador es de **49.59l/s**, lo cual se utilizara para el diseño del vertedero.

### **2.6.6.2. Diseño de vertederos de pared delgada de sección rectangular**

Los vertederos son dispositivos hidráulicos que se emplean para determinación de caudales, permitiendo el paso del flujo que se desea medir a través de su escotadura con forma geométrica particular. Para el presente estudio de investigación se utilizó una plancha de acero de 2mm de espesor, Con las dimensiones indicadas en la Figura 2.11 y Figura 2.12 respectivamente.

Importante: Es necesario realizar el calibramiento de los vertederos de pared delgada para el punto inicial y final, encontrando el respectivo factor de corrección, en el caso de esta investigación no se ha podido realizar el calibramiento pese a los varios intentos y no poder encontrar las condiciones volumétricas del caudal, tal como se describe en el ítem de técnicas e instrumentos para la obtención de datos, por lo que se utilizó la formula general del método de pared delgada de sección rectangular sin ser afectada por algún factor.

## DISEÑO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA - TRAMO INICIAL Y FINAL

### **Fórmula Para Vertederos De Pared Delgada ( Sección Rectangular)**

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

Donde:

Q: Caudal que fluye por el vertedero (m<sup>3</sup>/s)

L: Ancho de la cresta (m)

h: Carga del vertedero (m)

g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s<sup>2</sup>) (m/s<sup>2</sup>)

u: Coeficiente de gasto

$$\mu \approx 0.60$$

Por lo tanto:

$$Q = 1.77 * L * h^{\frac{3}{2}}$$

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

$$v_{media} = v_{superficial} * 0.8$$

### **Cálculo de la velocidad media:**

$$v_{superficial} = 0.491 \text{ m/s}$$

$$\text{Factor} = 0.8$$

$v_{media} = 0.3928 \text{ m/s}$
----------------------------------

### **Cálculo del nuevo caudal:**

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

$$\text{Area} = 0.101 \text{ m}^2$$

$Q = 0.039673 \text{ m}^3/\text{s}$
-------------------------------------

*Nota: el nuevo caudal obtenido utilizando la velocidad media se utilizara para el diseño del vertedero.*

Para hacer el diseño de dicho vertedero procedemos a asumir valores de L y h hasta obtener caudales cercanos o iguales a los calculados.

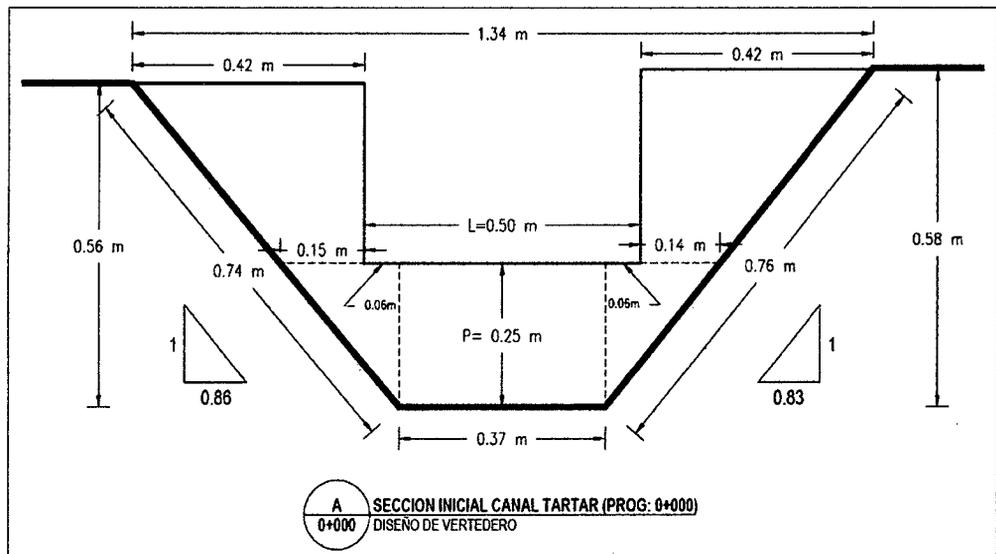
PARA:

DESCRIPCIÓN	Ancho de Cresta L (m)	Carga de vertedero h (m)	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)
ENTRADA	0.50	0.15	0.051
SALIDA	0.54	0.12	0.040

Las dimensiones finales del diseño del vertedero de sección rectangular son las siguientes:

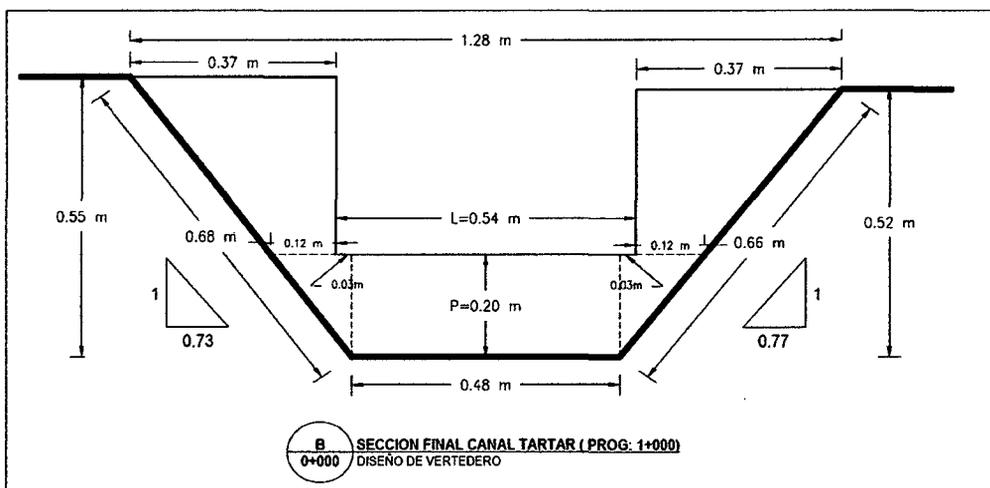
⊙ SECCIÓN INICIAL DEL CANAL TARTAR – DIMENSIONES DE DISEÑO  
(PROG: 0+000)

**Figura 2.11: Dimensiones de diseño de vertedero sección inicial canal Tartar**



**© SECCIÓN FINAL DEL CANAL TARTAR – DIMENSIONES DE DISEÑO**  
**(PROG: 1+000)**

**Figura 2.12: Dimensiones de diseño de vertedero sección final canal Tartar**



**2.6.7. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN**

**2.6.7.1. Obtención de caudales de entrada y salida**

**© MARTES 15/01/2013**

TABLA No 2.3: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		MARTES 15/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.265	0.277	0.276
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8087	0.8152	0.8146
Caudal de Ingreso **	m <sup>3</sup> /s.	0.163	0.175	0.174
Caudal Promedio de Ingreso	m <sup>3</sup> /s.	0.171		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.247	0.238	0.245
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7636	0.7599	0.7628
Caudal de Salida **	m <sup>3</sup> /s.	0.149	0.141	0.147
Caudal Promedio de Salida	m <sup>3</sup> /s.	0.146		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ MIERCOLES 16/01/2013

TABLA No 2.4: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DÍA Y FECHA:		MIÉRCOLES 16/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidráulica (h):	m.	0.274	0.279	0.281
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8136	0.8163	0.8173
<b>Caudal de Ingreso **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.172</b>	<b>0.178</b>	<b>0.180</b>
<b>Caudal Promedio de Ingreso</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.177</b>		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidráulica (h):	m.	0.237	0.249	0.253
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7595	0.7644	0.7660
<b>Caudal de Salida **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.140</b>	<b>0.151</b>	<b>0.155</b>
<b>Caudal Promedio de Salida</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.149</b>		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ JUEVES 17/01/2013

TABLA No 2.5: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DÍA Y FECHA:		JUEVES 17/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidráulica (h):	m.	0.284	0.281	0.283
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8189	0.8173	0.8184
<b>Caudal de Ingreso **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.183</b>	<b>0.180</b>	<b>0.182</b>
<b>Caudal Promedio de Ingreso</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.182</b>		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidráulica (h):	m.	0.249	0.255	0.258
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7644	0.7668	0.7680
<b>Caudal de Salida **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.151</b>	<b>0.157</b>	<b>0.160</b>
<b>Caudal Promedio de Salida</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.156</b>		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ VIERNES 18/01/2013

TABLA No 2.6: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		VIERNES 18/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.306	0.303	0.301
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8304	0.8289	0.8278
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.208	0.204	0.202
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.205		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.263	0.278	0.276
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7699	0.7757	0.7749
Caudal de Salida **	m3/s.	0.166	0.181	0.179
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.175		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ SABADO 19/01/2013

TABLA No 2.7: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		SABADO 19/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.303	0.303	0.305
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8289	0.8286	0.8299
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.204	0.204	0.206
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.205		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.279	0.274	0.269
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7761	0.7742	0.7723
Caudal de Salida **	m3/s.	0.182	0.177	0.172
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.177		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ LUNES 21/01/2013

TABLA No 2.8: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		LUNES 21/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.295	0.298	0.293
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8247	0.8263	0.8237
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.195	0.198	0.193
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.195		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.271	0.254	0.262
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7730	0.7664	0.7695
Caudal de Salida **	m3/s.	0.174	0.156	0.165
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.165		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

☉ MIERCOLES 23/01/2013

TABLA No 2.9: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		MIERCOLES 23/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.197	0.198	0.201
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7698	0.7702	0.7721
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.099	0.100	0.103
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.101		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.171	0.172	0.179
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7313	0.7318	0.7348
Caudal de Salida **	m3/s.	0.082	0.083	0.089
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.085		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

© VIERNES 25/01/2013

TABLA No 2.10: OBTENCIÓN DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA				
DIA Y FECHA:		VIERNES 25/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.370	0.370	0.370
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.250	0.250	0.250
Longitud de Cresta (L):	m.	0.500	0.500	0.500
Carga Hidraulica (h):	m.	0.265	0.264	0.261
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.8087	0.8081	0.8065
<b>Caudal de Ingreso **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.163</b>	<b>0.162</b>	<b>0.159</b>
<b>Caudal Promedio de Ingreso</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.161</b>		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del Vertedero (B)	m.	0.480	0.480	0.480
Umbral del Vertedero (P)	m.	0.200	0.200	0.200
Longitud de Cresta (L):	m.	0.540	0.540	0.540
Carga Hidraulica (h):	m.	0.245	0.231	0.235
Coefficiente de Gasto ( $\mu$ ) *	s/u	0.7628	0.7570	0.7587
<b>Caudal de Salida **</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.147</b>	<b>0.134</b>	<b>0.138</b>
<b>Caudal Promedio de Salida</b>	<b>m3/s.</b>	<b>0.140</b>		

\* Para el cálculo del coeficiente de gasto ( $\mu$ ) se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (21)

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. Presentación de resultados:

Para el cálculo de las eficiencias de conducción, se utilizaran los caudales obtenidos en el capítulo anterior ítems 2.6.7.1.

#### ⇒ EFICIENCIAS DE CONDUCCIÓN

☉ **MARTES 15/01/2013**

TABLA No 3.1: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		MARTES 15/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.163	0.175	0.174
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.171		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.149	0.141	0.147
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.146		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	85.35		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ **MIÉRCOLES 16/01/2013**

TABLA No 3.2: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		MIÉRCOLES 16/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.172	0.178	0.180
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.177		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.140	0.151	0.155
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.149		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	84.32		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ JUEVES 17/01/2013

TABLA No 03.3: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		JUEVES 17/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.183	0.180	0.182
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.182		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.151	0.157	0.160
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.156		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	86.18		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ VIERNES 18/01/2013

TABLA No 3.4: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		VIERNES 18/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.208	0.204	0.202
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.205		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.166	0.181	0.179
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.175		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	85.69		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ SABADO 19/01/2013

TABLA No 3.5: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		SABADO 19/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.204	0.204	0.206
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.205		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.182	0.177	0.172
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.177		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	86.51		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ LUNES 21/01/2013

TABLA No 3.6: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		LUNES 21/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.195	0.198	0.193
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.195		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.174	0.156	0.165
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.165		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	84.39		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ MIÉRCOLES 23/01/2013

TABLA No 3.7: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		MIÉRCOLES 23/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.099	0.100	0.103
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.101		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.082	0.083	0.089
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.085		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	84.20		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

☉ VIERNES 25/01/2013

TABLA No 3.8: EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN				
DIA Y FECHA:		VIERNES 25/01/2013		
DATOS	UNID.	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>CAUDAL DE INGRESO</b>				
Caudal de Ingreso **	m3/s.	0.163	0.162	0.159
Caudal Promedio de Ingreso	m3/s.	0.161		
<b>CAUDAL DE SALIDA</b>				
Caudal de Salida **	m3/s.	0.147	0.134	0.138
Caudal Promedio de Salida	m3/s.	0.140		
<b>EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN</b>				
EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN ***	%	86.73		

\*\* Para el cálculo del caudal se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (15)

\*\*\* Para el cálculo de la eficiencia de conducción se utiliza la fórmula descrita en la ecuación (01)

⇒ **DIAGNÓSTICO DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL**

**TABLA No 3.9. RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL**

NÚMERO	PROGRESIVA Km.	TIPO			PROFUNDIDAD (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD (cm)	CODIGO
		GRIETA	ROTURA	JUNTAS				
1	0+000.80				5.50	5.00	60.00	J1
2	0+014.70				9.00	25.00	40.00	R1
3	0+034.65				8.00	10.00	30.00	R2
4	0+042.80				13.00	60.00	62.00	R3
5	0+052.50				20.00	19.00	53.00	R4
6	0+052.50				11.00	14.00	70.00	R6
7	0+079.00				12.00	18.00	59.00	R6
8	0+080.00						135.00	G1
9	0+103.50				22.00	29.00	55.00	R7
10	0+148.00						87.00	G2
11	0+180.00				29.00	14.00	62.00	R8
12	0+182.00				29.00	5.50	66.00	R9
13	0+183.30				29.00	3.00	68.00	R10
14	0+198.50						100.00	G3
15	0+232.60					1.00	63.00	G4
16	0+232.60				21.00	22.00	53.00	R11
17	0+233.90				16.00	7.00	58.00	R12
18	0+238.00					0.50	67.00	G6
19	0+247.20				23.00	29.00	60.00	R13
20	0+267.50					2.00	60.00	G6
21	0+273.50					0.20	54.00	G7
22	0+301.80					0.50	54.00	G8
23	0+313.10				25.00	9.00	68.00	R14
24	0+314.40				15.00	12.00	57.00	R15
25	0+338.00				19.00	11.00	62.00	R16
26	0+361.00				5.00	1.00	75.00	G9
27	0+367.00				7.00	7.00	30.00	R17
28	0+374.90				19.00	14.00	50.00	R18
29	0+374.90				27.00	15.00	61.00	R19
30	0+386.50				15.00	15.00	60.00	R20
31	0+392.30				9.00	10.00	53.00	R21
32	0+392.30				9.00	10.00	50.00	R22
33	0+399.20				22.00	38.00	68.00	R23

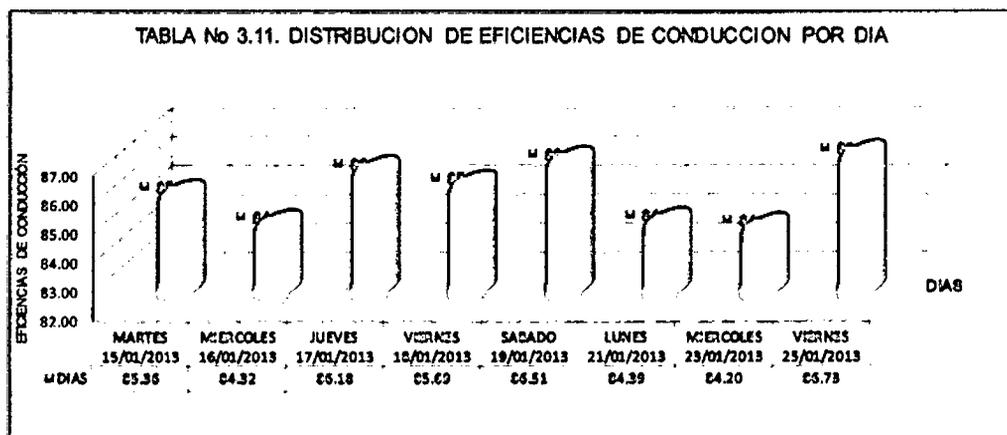
34	0+433.70				5.00	1.00	65.00	G10
35	0+435.70				7.00	2.00	60.00	G11
36	0+437.50				5.00	1.50	70.00	G12
37	0+442.00				12.00	9.00	25.00	R24
38	0+467.30				12.00	10.00	38.00	R25
39	0+468.40				12.00	9.00	25.00	R26
40	0+472.40				25.00	59.00	32.00	R27
41	0+506.70				18.00	17.00	52.00	R28
42	0+506.70				13.00	11.00	51.00	R29
43	0+509.50				15.00	9.00	38.00	R30
44	0+539.40				10.00	12.00	56.00	R31
45	0+555.20				13.00	13.00	60.00	R32
46	0+576.60				12.00	5.00	58.00	J8
47	0+576.60				9.00	5.00	56.00	J9
48	0+623.00				5.00	1.00	300.00	G13
49	0+627.10				8.00	5.00	58.00	J10
50	0+634.60				10.00	3.00	55.00	J11
51	0+637.50				12.00	10.00	60.00	R33
52	0+681.70				15.00	20.00	58.00	R34
53	0+704.20				9.00	3.00	60.00	J12
54	0+707.30				8.00	5.00	60.00	J13
55	0+739.80				7.00	5.00	60.00	J14
56	0+781.20				5.00	3.00	60.00	J15
57	0+793.00				7.00	5.00	65.00	J16
58	0+796.00				7.00	5.00	50.00	J17
59	0+824.00				9.00	5.00	55.00	J18
60	0+830.00				9.00	6.00	54.00	J19
61	0+859.70				<del>27.00</del>	20.00	45.00	R35
62	0+866.00				10.00	5.00	20.00	J20
63	0+892.00				10.00	7.00	45.00	J21
64	0+903.00				14.00	12.00	20.00	R36
65	0+935.50				9.00	5.00	60.00	J22
66	0+981.50				27.00	14.00	60.00	R37

### 3.2. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

✦ En la siguiente tabla se muestra las eficiencias de conducción obtenidas durante el periodo de estudio:

TABLA No 3.10: EFICIENCIA DE CONDUCCION		
DIA Y FECHA	UNIDAD	EFICIENCIA
MARTES 15/01/2013	%	85.36
MIERCOLES 16/01/2013	%	84.32
JUEVES 17/01/2013	%	86.18
VIERNES 18/01/2013	%	85.69
SABADO 19/01/2013	%	86.51
LUNES 21/01/2013	%	84.39
MIERCOLES 23/01/2013	%	84.20
VIERNES 25/01/2013	%	86.73
<i>Eficiencia de Conduccion Promedio</i>	%	<b>85.42</b>

Mediante esta tabla se puede apreciar que la eficiencia de conducción del tramo analizado es baja ya que se encuentra por debajo de las eficiencias consideradas para canales revestidos según (Palacios, 2004), quien considera ***“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 Km. y de 90%, hasta 50 Km”.***



- \* El valor de la eficiencia de conducción, es bajo (según estudios realizados mostrados en el Capítulo I, Items 1.1.2. (Antecedentes Nacionales) que a pesar que el canal principal se encuentra revestido con concreto simple, este se encuentra en mal estado de conservación.
- \* En la siguiente tabla se muestra el diagnóstico del estado de agrietamiento del canal de riego en su tramo de estudio con las fallas más considerables.

<b>TABLA No 3.12. RESUMEN ESTADO DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL</b>				
<b>ITEMS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	<b>GRIETAS</b>	G	und	13.00
2	<b>ROTURAS</b>	R	und	37.00
3	<b>JUNTAS</b>	J	und	22.00

Dentro del diagnóstico realizado en esta tabla: Se observa el estado de agrietamiento del canal de riego Tartar distrito de Baños del Inca- Cajamarca, lo cual se encuentra en un proceso de deterioro constante debido al no mantenimiento de dicha infraestructura, presentando las siguientes fallas más considerables: Roturas(37), grietas(13) y juntas mal selladas(22) que producen una mayor infiltración y a su vez disminución de la eficiencia de conducción, perjudicando así a los beneficiarios de dicho sistema de riego.

### 3.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la presente investigación tenemos como hipótesis planteada: ***La eficiencia de conducción del canal de riego, del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca-Cajamarca, es baja debido a las infiltraciones que se presenta a lo largo del canal;*** esta hipótesis es válida ya que debido a diversos factores estudiados (grietas, roturas, estado de juntas) trae como consecuencia una mayor pérdida de agua por infiltración, arrojando así una eficiencia de conducción de 85.42% lo cual está por debajo de lo establecido para eficiencias de conducción en canales revestidos según (Palacios, 2004), quien considera: ***“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 Km. y de 90%, hasta 50 Km”.***

## **CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **⊙ CONCLUSIONES**

- La eficiencia de conducción del canal de riego, del centro poblado Tartar distrito de Baños del Inca - Cajamarca es del **85.42%** en el tramo estudiado, considerándose baja en razón de que presenta filtraciones a lo largo del canal, la cual se encuentra por debajo de los valores establecidos para eficiencias de conducción en canales revestidos según Palacios 2004.
  
- Mediante el vertedero de pared delgada de sección rectangular se logró determinar los caudales de entrada y salida del canal de riego, del centro Poblado Tartar en el tramo de estudio.
  
- Se logró evaluar el estado de agrietamiento del canal de riego, del centro poblado Tartar distrito de Baños del Inca, encontrándose en un proceso de deterioro constante debido al no mantenimiento de dicha infraestructura, presentando las siguientes fallas más considerables: Roturas, grietas y juntas mal selladas que producen una mayor infiltración y a su vez disminución de la eficiencia de conducción.
  
- A pesar de que el conocimiento de la Eficiencia de conducción es fundamental para la gestión seguimiento y planificación del agua, los

estudios antecedentes en Cajamarca y a nivel nacional, los que se presentan en este estudio solo representa a 1 km del total del canal que es de 9.33 km.

## ☉ RECOMENDACIONES

- Se deben continuar los trabajos de evaluación de Eficiencia de conducción del canal de riego Tartar en toda su longitud, para encontrar las deficiencias que se presenta con la finalidad de solucionar los diferentes problemas existentes.
  
- Realizar el estudio en todos los canales de regadío del departamento de Cajamarca con el objetivo de determinar las eficiencias de conducción y evaluar el estado del agrietamiento para así saber en qué estado se encuentran y tomar medidas correctivas inmediatas.
  
- Formar juntas administradoras de riego en el Centro Poblado Tartar para el manejo y adecuado mantenimiento que se debe realizar periódicamente en los sistemas de riego.
  
- Capacitar a las juntas administradoras de riego del Centro Poblado Tartar para dar uso y mantenimiento adecuado de los sistemas de riego, para un mayor beneficio de los usuarios y así obtener indirectamente una mejor calidad de vida.

#### **4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bello M; Pino M. 2000. Chile: Medición de presión y caudal. Instituto de investigaciones agropecuarias comisión nacional de riego. 20p.
- Castillo, M. 2010. Lima. Mejoramiento del canal Palpa Alta en tramos críticos – Huaral. Universidad nacional Mayor de san marcos. 156p.
- De Azevedo, J. M. y Guillermo Acosta A. Manual de Hidráulica. 6ª ed. México: Harla, 1976. 578 p.
- De la Torre C; Sierra R. 2000. Proyecto de riego en comunidades campesinas andinas: Una propuesta metodológica de seguimiento y evaluación. GPER INKA. 240p.
- Grajales, G.1976.Lima. regulación de riego e incorporación de áreas nuevas en la margen izquierda del rio Ica. IICA/BIO/OSPAL.128p.
- Gustavo, J. 2011. Mendoza. Infiltración y erosión: sus efectos sobre la red de canales a partir de la regulación del rio Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo. 67p.
- Herna, B. 2010. Lima. Perdida infiltración canales revestidos.21p.
- Lux, M. 2010.Medidores de flujo en canales abiertos. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.138p.
- Monge, E.2003. Chile. Acerca del agua de riego y su eficiencia de uso. Universidad de Concepción Chile.5p.
- Oviedo, M.2009.Lima. Evaluación de la eficiencia del uso del agua en la cuenca del rio Chili. Ministerio de Agricultura.224p.
- Palacios, E. 2004. La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. México. Colegio de posgraduados Montecillo.250p.

- Rocha, A.2006.Lima. Hidráulica de Tuberías y Canales. Universidad Nacional de Ingeniería. 515p.
- Sosa, A. 1999. Guatemala. Evaluación de la eficiencia de riego en la unidad el Guayabal Estanzuela, Zacapa. Universidad de San Carlos de Guatemala. 115p.
- Sotelo, G.1997.Mexico. Hidráulica general. Volumen I.561p.

## **ANEXOS Y OTROS**

### ***RELACIÓN DE ANEXOS***

ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO Y UBICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	100
ANEXO 2. FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA DETERMINACION DE CAUDALES DE INGRESO.....	106
ANEXO 3. FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA DETERMINACION DE CAUDALES DE SALIDA.....	107
ANEXO 4. FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA EVALUACION DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL .....	108
ANEXO N°5. OTROS .....	109

## ANEXO 1

### PANEL FOTOGRÁFICO Y UBICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

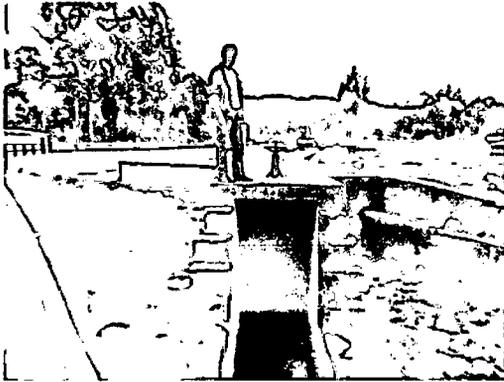


FOTO 1: BOCATOMA CANAL TARTAR



FOTO 2: EMPLANTILLADO DEL KILOMETRO DEL CANAL CADA 100 m

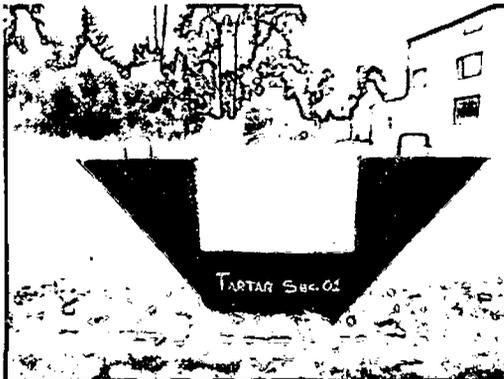


FOTO 3: VERTEDERO RECTANGULAR SECCION INICIAL (PROG: 0+000)

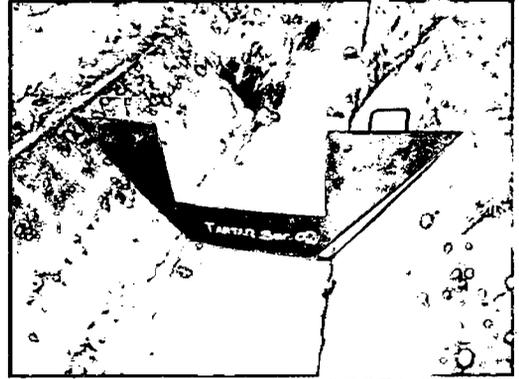


FOTO 4: VERTEDERO RECTANGULAR SECCION FINAL (PROG: 1+000)



FOTO 5: COLOCACION DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA



FOTO 6: SELLADO DEL VERTEDERO DE PARED DELGADA CON ARCILLA

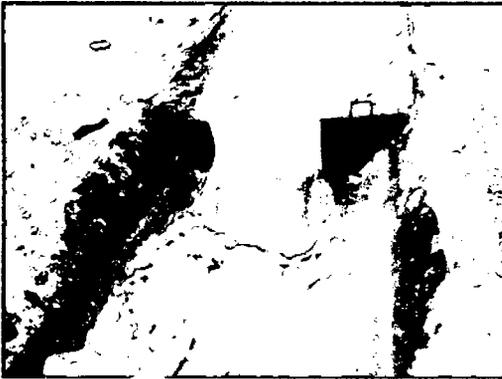


FOTO 7: VERTEDERO RECTANGULAR EN FUNCIONAMIENTO



FOTO 8: MEDICION DE LA DISTANCIA PARA LA TOMA DE ALTURAS DE CARGA



FOTO 9: TOMA DE ALTURAS DE CARGA EN EL CANAL



FOTO 10: LECTURA DE ALTURAS DE CARGA TOMADAS

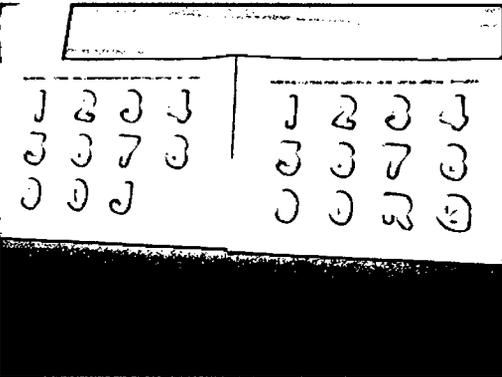


FOTO 11: NUMEROS Y LETRAS PARA IDENTIFICACION DE ROTURAS GRIETAS Y JUNTAS



FOTO 12: PRESCENCIA DE VEGETACION SILVESTRE (MALEZAS, ETC) EN TODO EL TRAMO DEL CANAL



FOTO 13: JUNTAS MAL SELLADAS Y CON PRESENCIA DE VEGETACION



FOTO 14: GRIETAS PRESENTES EN TODO EL TRAMO DEL CANAL



FOTO 15: TRAMO EN COLAPSO DEL CANAL



FOTO 16: CAIDAS EN MAL ESTADO DEL CANAL



FOTO 17: MEDICION DEL ESPESOR DE LAS ROTURAS



FOTO 18: MEDICION DE LA PROFUNDIDAD DE LAS ROTURAS



FOTO 19: MEDICION DE LA LONGITUD DE LAS ROTURAS



FOTO 20: JUNTA MAL SELLADA (PROGRESIVA 0+000.90)



FOTO 21: ROTURA (PROGRESIVA 0+103.50)

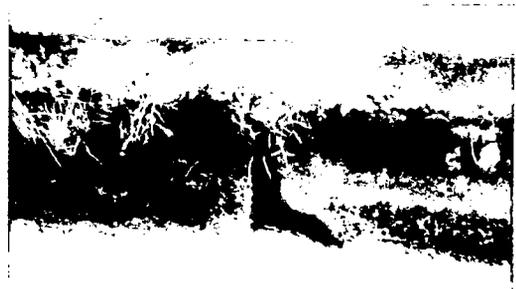


FOTO 22: ROTURA (PROGRESIVA 0+232.60)



FOTO 23: ROTURA (PROGRESIVA 0+233.90)



FOTO 24: ROTURA (PROGRESIVA 0+238.00)



FOTO 25: ROTURA (PROGRESIVA 0+314.00)

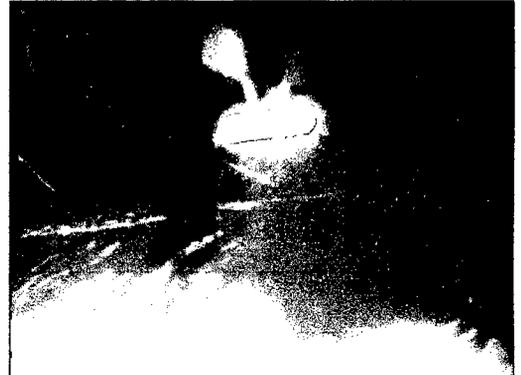


FOTO 26: ROTURA (PROGRESIVA 0+338.00)

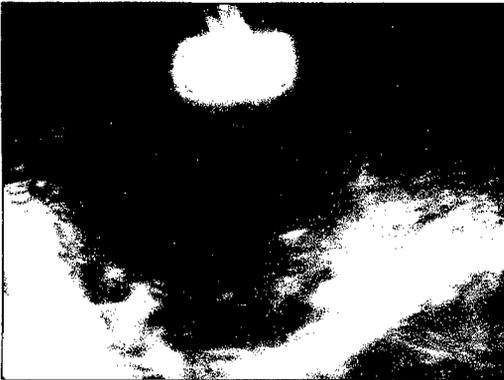


FOTO 27: GRIETA (PROGRESIVA 0+361.00)



FOTO 28: ROTURA (PROGRESIVA 0+392.30)



FOTO 29: ROTURA (PROGRESIVA 0+399.20)

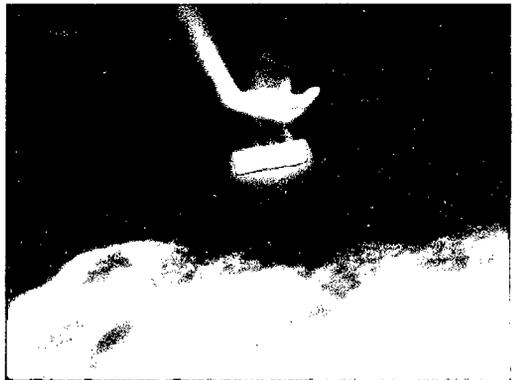


FOTO 30: GRIETA (PROGRESIVA 0+437.50)



FOTO 31: ROTURA (PROGRESIVA  
0+467.30)



FOTO 32: ROTURA (PROGRESIVA  
0+472.40)



FOTO 33: JUNTA (PROGRESIVA  
0+576.60)



FOTO 34: ROTURA (PROGRESIVA  
0+681.20)



FOTO 35: JUNTA (PROGRESIVA  
0+704.20)

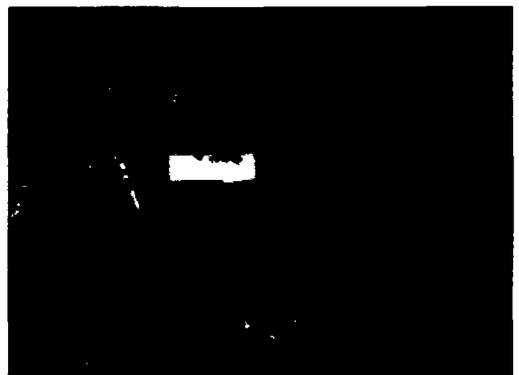


FOTO 36: ROTURA (PROGRESIVA  
0+981.50)





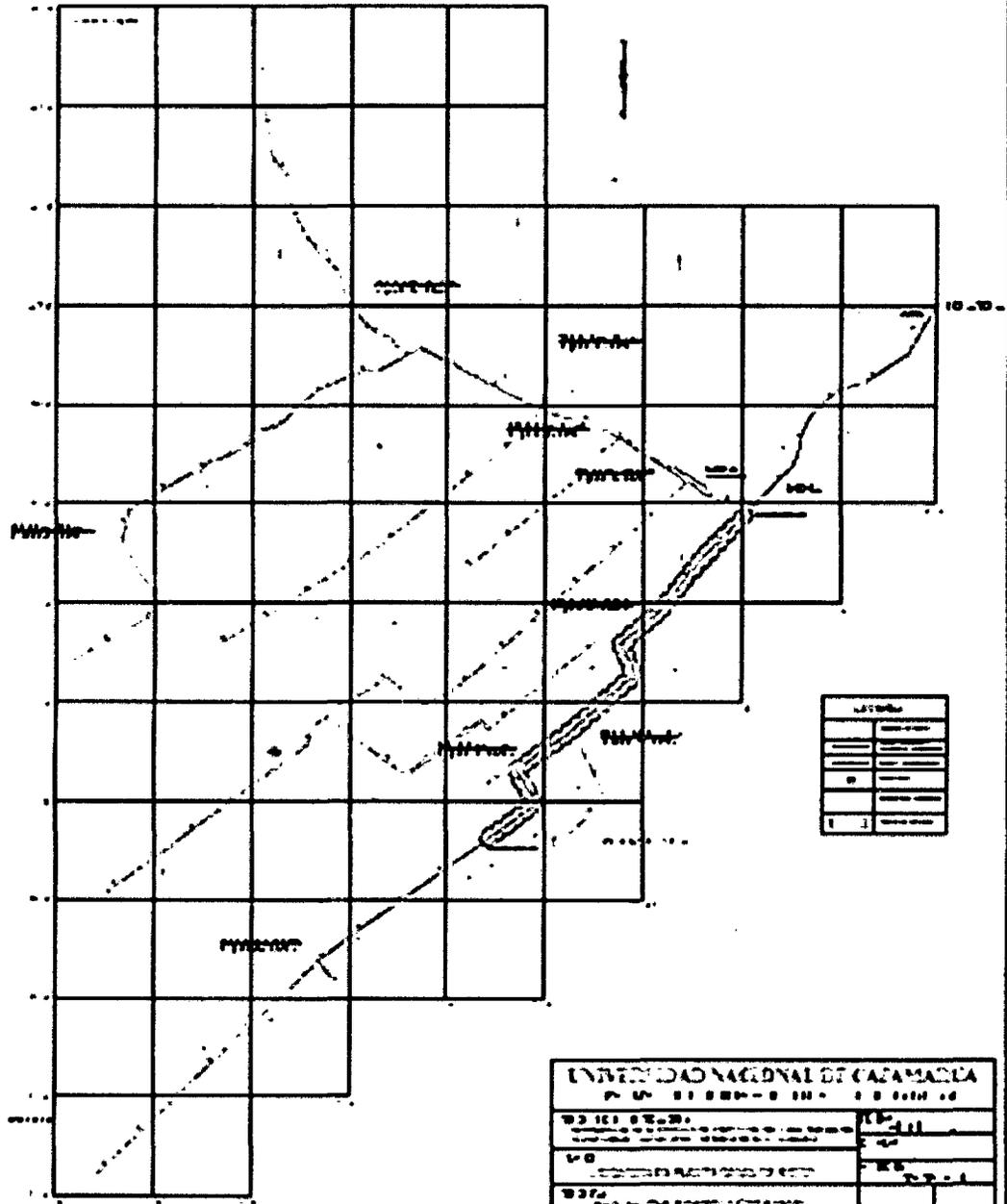
## ANEXO 4

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS PARA EVALUACION DEL AGRIETAMIENTO DEL CANAL	
NOMBRE DEL CANAL:	
NUMERO DE FICHA:	4
LUGAR:	
FECHA:	
DIA:	
TRAMO INICIAL (Km):	
TRAMO FINAL (Km):	
INVESTIGADOR:	

NUMERO	PROGRESIVA Km.	TIPO			PROFUNDIDAD (cm)	ESPESOR (cm)	LONGITUD (cm)	CODIGO	OBSERVACIONES Y/O GRAFICA
		GRIETA	ROTURA	JUNTAS					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

# PLANO GENERAL CANAL DE RIEGO TARTARA

Esc. 1:4500



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAGARI	
P.O. BOX 1000 - CAGARI	
TÍTULO: PLANO GENERAL DEL CANAL DE RIEGO TARTARA AUTOR: INGENIERO EN CIVIL FECHA: 1980	ESCALA: 1:4500 HOJA: 1 DE 1
INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAGARI DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL ASIGNATURA: DISEÑO DE OBRAS DE RIEGO	<b>A1</b>