



UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA DE PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN Y
REVESTIMIENTO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN
DE LA C.H. SAN PEDRO PORÚAS EN EL
KM 0+004 AL KM 1+238.4.**

Tesis

que para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta:

José Ricardo Martínez Ávila

Asesor: I.C. Carlos Cesar Pérez Ángeles

Uruapan, Michoacán, 28 de Noviembre de 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo.	4
Pregunta de Investigación.	5
Justificación.	5
Marco de referencia.	6

CAPÍTULO 1 .- Canales

1.1 Concepto de canales.	07
1.2 Tipos de canales.	08
1.2.1 Canales naturales.	08
1.2.2 Canales artificiales.	09
1.3 Elementos de un canal.	10
1.4 Hidráulica de canales.	13
1.5 Geometría de canales.	14
1.5.1 Elementos geométricos de la sección de los canales.	15
1.6 Esguerrimiento en canales abiertos.	16
1.6.1 Tipos de esguerrimiento en canales abiertos.	17

1.7 Número de Reynolds.	18
1.8 Regimen de flujo.	19
1.9 Fórmulas utilizadas en el diseño o revisión de canales.	21
1.9.1 Fórmula de Chézy.	22
1.9.2 Constante de Chezy (C).	24
1.10 Energía específica de canales.	25
1.10.1 Interpretación de fenómenos locales.	25
10.11 Rehabilitación redimensionamiento y actualización al canal de conducción San Pedro Porúas.	26

CAPITULO 2 .- Revestimiento de canales

2.1 Concepto de revestimiento.	31
2.2 Tipos de revestimiento.	33
2.2.1 Revestimiento con mampostería.	33
2.2.2 Revestimiento con concreto.	34
2.2.3 Revestimiento con mortero.	36
2.2.4 Revestimiento con concreto asfáltico.	37
2.2.5 Revestimiento con colchones reno.	38

2.2.6 Mantos permanentes.	39
2.2.7 Revestimiento con gaviones para canales.	40
2.3 Ventajas que ofrece el revestimiento de los canales.	41
2.4 Criterios de espesor de revestimiento.	43
2.5 Muros de mampostería tipos y especificaciones.	44
2.5.1 Mampostería piezas naturales	44
2.5.2 Mampostería piezas artificiales	45
2.6 Mortero.	47
2.7 Muros diafragma.	49
2.8 Muros con refuerzo interior.	50
2.9 Muros sin refuerzo.	50
2.10 Dosificación de mezclas de concreto.	54

CAPÍTULO 3.- Resumen ejecutivo de macrolocalización y microlocalización.

3.1 Generalidades.	58
3.1.1 Objetivo.	58
3.1.2 Alcance del proyecto.	59

3.2 Resumen ejecutivo.	59
3.3 Entorno geográfico.	60
3.3.1 Macro y micro localización.	60
3.3.2 Geología Regional y de la zona en estudio.	62
3.3.3 Hidrología regional y de la zona en estudio.	63
3.3.4 Uso del suelo regional y de la zona de estudio.	63
3.4 Informe fotográfico	64
3.4.1 Problemática.	69
3.4.2 Estado físico actual.	69
3.5 Alternativas de solución.	69
3.5.1 Planteamiento de alternativas	69
3.6 Proceso de análisis.	70

CAPÍTULO 4.- Metodología.

4.1 Método empleado.	72
4.1.1 Método matemático.	74
4.2 Enfoque de la investigación.	75

4.2.1 Alcance de la investigación.	77
4.3 Diseño de la investigación.	78
4.4 Instrumento de recopilación de datos.	79
4.5 Descripción del proceso de investigación.	79

CAPÍTULO 5.-Análisis e interpretación de resultados.

5.1 Aforo del caudal actual y levantamiento topográfico.	81
5.1.1 Aforo.	81
5.2 Levantamiento topográfico.	82
5.3 Secciones transversales y determinación de la pendiente del proyecto.	83
5.4 Análisis del gasto y diseño de la sección del canal del proyecto.	85
5.5 Corte, terraplén y revestimiento del canal.	87

CONCLUSIONES.	93
--------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.	98
--------------------------------	----

ANEXOS.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

De acuerdo con Ibarrola L. (1929), durante el año de 1905 un campesino descubrió un canal que corría entre el cerro “La Vinata”, el cual su principal función era abastecer un aserradero del cual se desconoce la localización precisa, referenciando el sitio con la localidad de San Pedro Porúas el cual se encuentra en el municipio Villa Madero, Michoacán, donde actualmente se encuentra el canal.

Al observar que el canal tenía una pendiente prometedora fue necesaria la intervención de un ingeniero, la respuesta fue positiva y se pensó en la generación eléctrica para llevarla a Morelia. Naciendo la idea de la planta de generación hidroeléctrica en San Pedro Porúa.

Se instalaron dos generadores Schwartz Kopff de 30 KW cada uno, inauguró su operación para llevar electricidad a Morelia y a poblados como Acuitzio del Canje fue la competidora de la planta de Tirio.

En otoño de 1918 Inés Chávez capturó la planta y pidió veinte mil pesos a los dueños, dinamitando la planta deja a Morelia sin luz. La reconstrucción de la planta fue un apoyo de toda la población con la tecnología de esa época. En 1928 el Ingeniero Pfaifer se hizo cargo de la planta. Fue hasta 1962 que se construyó el puente de la “Presa Grande” con dicho puente la Planta afirmaba los vínculos económicos y políticos con su municipio.

La Central Hidroeléctrica San Pedro Porúas, fue construida por la Compañía Eléctrica Morelia, S.A. La unidad tres entró en operación en el año de 1928 y la

unidad 1 en el año de 1958; actualmente la unidad dos está dada de baja y no se tiene registro sobre la entrada en operación.

El 05 de octubre de 1973 se formalizó la liquidación y cancelación definitiva por la Compañía Eléctrica Morelia, S.A., así como la aplicación y adjudicación de sus bienes y derechos a favor de la Comisión Federal de Electricidad, dentro de los cuales se encontraban las instalaciones y predios de la C.H. San Pedro Porúas.

Anteriormente se ha tratado el tema de mantenimiento de canales de conducción en la tesis del Ingeniero, Roberto Silva Chacón en la Universidad Don Vasco de Uruapan Michoacán, la cual lleva el título de Mantenimiento de canales de conducción para generación de energía hidroeléctrica que fue impresa en el año 2007 donde su objetivo es demostrar que cuando a las obras de conducción se les da el mantenimiento adecuado se recupera la capacidad de conducción del canal y por lo tanto se aumenta la generación en la planta a condiciones originales, llegando a la conclusión de que se tuvo un aumento en la velocidad del agua, teniéndose un aumento en el gasto y por tanto un aumento en la generación.

Planteamiento del problema.

En muchas ocasiones se diseñan canales con la creencia de que no necesitarán de mantenimientos preventivos para su correcto funcionamiento, o muchas de las veces con el paso de los años se van creando nuevos canales y los más antiguos pasan a un segundo plano ya que los nuevos suelen ser diseñados con mayor precisión para sustituir al antecesor, pero continuando con su funcionamiento dejan de ser atendidos, esto pasa con el canal mencionado en los antecedentes, ya que fue diseñado hace más de cien años y en la actualidad existen canales con mejor sección y mayor aprovechamiento que éste.

El canal de conducción San Pedro Porúas ha sufrido demasiados daños durante lo largo de la historia puesto que es un canal diseñado, pero de tierra. A pesar del descuido, los sedimentos y el derrumbe de algunas partes de sus taludes el canal continúa cumpliendo con su función. Dejando al canal en términos de operación básica y con deterioraciones que afectan el correcto funcionamiento del canal.

Conociendo los antecedentes y las condiciones actuales del canal surge la siguiente pregunta:

¿Es posible realizar una propuesta de rehabilitación y revestimiento para este canal de acuerdo con las condiciones actuales?

Con este trabajo se pretende proponer un proyecto de rehabilitación para dicho canal para una mayor generación hidroeléctrica y así demostrar la eficiencia del canal con las mejoras gracias a las propuestas.

Objetivo.

Objetivo general:

Proponer un proyecto de rehabilitación, así como un material de revestimiento adecuado y el redimensionamiento del canal de la C.H. San Pedro Porúas.

Objetivos particulares:

- Definir el concepto de canal.
- Señalar los tipos de secciones, el flujo y su comportamiento.
- Calcular el gasto de la sección.
- Redimensionar el canal San Pedro Porúas
- Definir el concepto de revestimiento.
- Señalar los tipos de revestimiento.
- Proponer un revestimiento apropiado para la sección del canal estudiado.

Pregunta de investigación.

De acuerdo con la investigación, antecedentes y el planteamiento del problema antes mencionado, la pregunta que guiará la presente investigación es:

¿Cuál sería la propuesta de rehabilitación y revestimiento para el canal de acuerdo con las condiciones actuales?

Justificación.

Uno de los más grandes beneficios que se obtienen al rehabilitar el canal de conducción C.H. San Pedro Porúas es conducir un gasto más elevado y con mayor velocidad. Al ser revestido se detendrán las pérdidas por filtraciones y fricción obteniendo una mayor generación de energía hidroeléctrica y un mayor ingreso económico.

Las condiciones del canal tan deterioradas hacen que su propósito, aunque en función sea de menor rendimiento, obstruyendo el flujo disminuyendo el gasto del canal y generando una menor cantidad de kW.

Demostrando que al rehabilitar y actualizar o rediseñar las secciones del canal, así como encontrar un material de revestimiento se generara mayor velocidad, se evitarán las obstrucciones por piedras posibles trozos de madera o hasta vegetación creciendo en la plantilla del canal. Se aumentará el gasto y por ende una mayor generación de energía hidroeléctrica obteniendo más ingreso para C.F.E.

Marco de referencia.

La localidad de Villa Madero está situada en el Estado de Michoacán de Ocampo. Tiene 5755 habitantes. Se encuentra a 2220 m.s.n.m. En la localidad hay 2668 hombres y 3087 mujeres. El 45% habla alguna lengua indígena. En la localidad se encuentran 1180 viviendas, de las cuales el 1.49% disponen de una computadora.

La C.H. San Pedro Porúas se localiza al Suroeste de la ciudad de Morelia, Michoacán. Para llegar hasta sus instalaciones se toma la autopista Morelia-Pátzcuaro hasta llegar al poblado de Tiripetío, de ahí se toma el rumbo hacia Villa Madero; un kilómetro antes de llegar a éste último se toma una brecha de terracería aproximadamente unos 8 kilómetros dentro.

El título de concesión para el uso de aguas superficiales del Río San Pedro, No. 4-MICH-00207/18-J-B-SG-94 de fecha 5 de abril de 1194; volumen de extracción y gasto máximo permitido 23,652,000 m³ y 1.516 m³/s. El canal de conducción es un canal de terracería con una longitud de 1,987 m. y un gasto máximo de la conducción de .96 m³.

La unidad 1 genera: 1,600 KW

La unidad 3 genera: 960kW

CAPÍTULO 1

CANALES

En este trabajo se habla sobre el concepto de canales, así como los tipos de canales, los elementos que lo componen, la hidráulica, la geometría, así como el escurrimiento en canales abiertos, la energía específica y la rehabilitación del mismo, redimensionamiento y actualización al canal de conducción San Pedro Porúas.

1.1 Concepto de canales.

“Un canal transporta, en general, los flujos de la naturaleza o hidráulicos.” (Cadavid R.; 2006:15). Los canales tienen la finalidad de transportar un fluido desde la obra de captación o bien desde las cuencas, lagos, ríos, etc. Hasta el lugar de distribución ya sea con fines prácticos, o bien, siguiendo su cauce natural.

De acuerdo con Chow (1986), son normalmente un trazo prolongado construidos sobre la tierra con cierto grado de pendiente esta puede ser suave o pronunciada, pueden ser revestidos o no con mampostería, concreto, armados con madera etc. Son diseñados de acuerdo con el volumen de fluido que debe ser transportado.

1.2 Tipos de canales.

Existen varios tipos de canales, como son: canales transportadores de agua potable, drenaje, para uso agrícola o para la generación de energía eléctrica, etc. Cada uno con un fin de construcción o propósito distinto. Los tipos de canales antes mencionados son a cielo abierto pueden ser de tierra clasificados como canales naturales o diseñados de diferentes materiales.

1.2.1 Canales naturales.

“Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen naturalmente sobre la tierra.” (Chow; 1986:24). Este mismo autor señala que los canales naturales varían en su tamaño, desde pequeños arroyos hasta grandes corrientes.

Estos canales se han formado principalmente por el agente de la erosión a lo largo del tiempo. Una corriente natural sería un río como arroyos y estuarios. Los canales naturales pueden ser perennes o intermitentes con la posibilidad de infiltraciones, una de las ventajas que posee un canal natural es que en temporada de secas cuando el canal no lleva agua por precipitación, éste se puede llenar o abastecer desde el subsuelo por las corrientes que fluyen bajo de él y continuar su trayecto hasta el punto de desfogue.

1.2.2 Canales artificiales.

Son aquellos diseñados por el intelecto humano los cuales transportan el gasto necesario con un tirante adecuado y una sección, así como la pendiente óptima para su transporte. Al ser revestidos por algún material elegido en el proceso de diseño se reduce la contaminación por sedimentación y asolvamientos en la base hidráulica, controlando los saltos hidráulicos para disipar energía o mantener el nivel del agua a cierta altura, así como evitar socavaciones en la obra.

Según Cadavid R. (2006), en la práctica se encuentran una amplia gama de materiales que son aptos para conformar las paredes de los canales lo que hace que se creen un número muy alto de rugosidades.

Estas son algunas de los canales proyectados y construidos por el hombre según Cadavid (2006):

- Vías navegables.
- Sistema de alcantarillado.
- Cunetas.
- Vertedores de excedencias.

- Aforadores.
- Obras de rectificación para corrientes naturales.
- Conducciones para abastecimiento de agua potable.
- Canaletas.
- Acequias.
- Canales para riego.

Como se observa, en las obras mencionadas cada una es adecuada a la necesidad o problemática existente, donde el ingeniero se ve obligado a desarrollar un proyecto eficiente que logre el objetivo y su desempeño sea el máximo por el mayor tiempo posible.

1.3 Elementos de un canal.

Una vez explicado lo suficiente sobre el tema se ha considerado adentrar en algunos conceptos básicos de la hidráulica de canales que servirán de soporte al lector para los siguientes capítulos, de acuerdo con Sparrow (2008).

Área hidráulica:

Área que es ocupada por el fluido de un canal. Se reconoce con la letra (A).

Perímetro mojado:

Suma de las longitudes de las paredes que moja el fluido. Se reconoce con la letra (P).

Radio hidráulico:

Es igual al área hidráulica dividida entre el perímetro mojado. Se reconoce con la letra (R).

Tirante de flujo:

Es la altura desde la base hidráulica del canal hasta donde comienza la superficie libre. Se reconoce con la letra (y).

Ancho superficial superior:

Es el ancho superior del canal donde el fluido está en contacto con la atmosfera, se le llama también espejo de agua. Se reconoce con la letra (v) o (t).

Pendiente del canal:

Es la inclinación que adopta el canal dependiendo de la topografía del terreno. Se reconoce con la letra (s)

Talud del canal:

Se denomina talud de canal a la inclinación que tienen las paredes de los canales. Se reconoce con la letra (z).

Fondo del canal:

Se denomina fondo de canal al ancho del fondo de la sección transversal del canal. Se reconoce con la letra (f).

Bordo libre:

Es la sobre elevación que se le da a los taludes del canal para tener un factor de seguridad para evitar los desbordes y ocasione daños al terreno que soporta el mismo canal. Se reconoce con la letra (F). Previendo esta situación el borde libre debe ser superior a los 30 cm para los canales más pequeños y de hasta 1.2m para canales de mayor capacidad según los autores.

Estos conceptos básicos ayudarán al lector a comprender mejor el texto adentrándose en los cálculos o bien servirá como guía en los temas y subtemas siguientes.

1.4 Hidráulica de canales.

“Se llama hidráulica de canales a la rama que comprende la teoría y los procedimientos para el diseño de conducciones que transportan flujo a superficie libre” (Cadavid R.; 2006:15).

Continuando con el autor esta rama de la hidráulica se ocupa del flujo abierto que lo afecta la presión atmosférica. En la práctica un canal se proyecta exclusivamente para transportar fluidos dependiendo su uso ya sea con sedimentos o libre de ellos.

En esta obra se hará mención de un canal en particular el cual genera electricidad en la Central Hidroeléctrica de San Pedro Porúas. Con características particulares, siendo un canal diseñado hace más de 100 años como se menciona en los antecedentes y en el propósito de esta tesis. Por tanto, el presente trabajo se enfoca en los canales a cielo abierto.

1.5 Geometría de canales.

Continuando con el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (1980), los canales se construyen generalmente utilizando secciones geométricas regulares, en excavaciones las secciones más usadas

son las trapeciales y las rectangulares para seleccionar una sección se debe conocer el tipo de suelo, así como el tipo de revestimiento; en suelos arenosos el tipo de sección más usada es la trapecial debido al ángulo de reposo de los taludes.

Las secciones de los canales naturales suelen ser muy complicadas o muy simples; para secciones naturales el radio hidráulico y el tirante tienen valores precisos. Como es difícil definir la pendiente en este tipo de canales es mejor utilizar las cotas del fondo sobre un plano de referencia ya que es más fácil dictar las cotas que calcular el tirante de la sección ya que como puede ser muy irregular el tirante serio cambiante a lo largo de la plantilla, cabe mencionar que es posible pero poco práctico.

El término sección de canal escrito por Chow (1986) se refiere a la sección transversal de un canal dependiendo de la dirección de flujo que a continuación serán mencionados en los siguientes capítulos ya que tienen un papel muy importante en la hidráulica de canales el tipo de flujo.

Además de las dos maneras o tipos de geometría ya mencionadas existen otras cinco en su totalidad conjugan siete cada una con sus peculiaridades y formas de diseño las cuales son; triangulares, circulares, en forma de parábola, rectángulo con ángulos redondos y triangulo con fondo redondeado.

Siguiendo con el autor, la sección rectangular y triangular son casos especiales ya que el rectángulo tiene paredes verticales, este canal es utilizado en canales que son estables y revestidos con mampostería, madera o en algunas

ocasiones metal. La sección rectangular es propuesta para zanjas pequeñas, cunetas o trabajos de laboratorio.

La parábola es usada para simular una sección natural de tamaño pequeño, o bien, medianos. El triángulo de fondo redondeado es una aproximación de la parábola; esta forma es normalmente para palas.

Las secciones cerradas diferentes del círculo son usadas con frecuencia en colectores. Su tamaño es considerable porque permite entrar a un hombre pueden ser de forma de huevo, herradura, en forma de U, etc. Las especificaciones y otras particularidades de este tipo de secciones se pueden encontrar en libros sobre instalaciones sanitarias.

Existe un tipo de sección geométrica especial llamada lintearia, tiene forma de cubeta, formada por laminas sin peso y rellenas de agua hasta la parte superior de la sección sujeta firmemente de los extremos, pero no crea un efecto de fijación. La lintearia ha sido utilizada para la realización de canaletas elevadas de riego como su peso es tan poco es despreciable y se pueden sujetar a las vigas.

1.5.1 Elementos geométricos de la sección de los canales.

Los elementos geométricos son propiedades de una sección del canal que puede ser definida por la geometría de la sección o el tipo de flujo que esta tiene, dichos elementos son bastante importantes y son utilizados en el cálculo de escurrimiento, menciona Chow (1986).

Para canales simples de sección regular se puede expresar matemáticamente los elementos geométricos en función del escurrimiento y su profundidad y otras dimensiones de la sección. Para las secciones irregulares en su defecto canales naturales, ninguna fórmula sirve para explicar sus elementos.

La profundidad de flujo es la distancia que existe entre el punto más bajo de la sección que es la plantilla hasta la superficie libre.

La cota es la elevación o distancia vertical de la superficie libre basada en una referencia que se elige como puede ser la plantilla en este caso la cota será igual a la profundidad de flujo.

Cabe mencionar que existen coeficientes por los cuales son multiplicadas las secciones en los cálculos los cuales serán mencionados solo si se consideran necesario en la teoría, de lo contrario se encontrarán dentro de los cálculos, pero serán fáciles de detectar.

1.6 Escurrimiento en canales abiertos.

Continuando con Chow (1986), hay que recordar que los escurrimientos en un canal de este tipo están en contacto con la atmósfera la cual ejerce una presión. Es difícil obtener datos sobre el escurrimiento libre de los canales abiertos porque los elementos del canal son interdependientes y en constantes cambios como las pendientes, recubrimientos, el fondo del canal y otro tipo de elementos distintos que impiden la obtención de datos en el laboratorio. La rugosidad es una parte fundamental en el cálculo del escurrimiento ya que depende de la altura de la

superficie libre a la que se encuentre esto hace la determinación del factor de fricción un tanto más compleja. El método más completo hasta ahora es el empírico si se emplea correctamente.

1.6.1 Tipos de escurrimiento en canales abiertos.

La siguiente clasificación se basó en el cambio de la profundidad del flujo dependiendo el tiempo y el espacio, según Chow (1986).

Escurrimiento permanente y no permanente: se dice que un canal tiene escurrimiento permanente si la profundidad del flujo no cambia en cierto tiempo al contrario del escurrimiento no permanente el cual se clasifica así. En cambio, si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayoría de problemas de canales abiertos, es necesario estudiar el proceso solamente bajo condiciones permanentes. Sin embargo, si la relación de profundidad cambia bruscamente como en mareas y crecidas son un buen ejemplo para escurrimiento no permanente.

Un flujo es considerado uniforme si la profundidad es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente dependiendo si la profundidad no cambia con relación del tiempo, el flujo es variado si la profundidad no cambia a lo largo del canal este flujo puede ser permanente o irregular el termino irregular se utilizará para distinguir entre flujo variable no permanente exclusivamente.

El flujo variado puede ser clasificado posteriormente como rápidamente o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado clasificado de esta manera si

la pendiente tiene un cambio muy abrupto, de lo contrario sería un flujo gradualmente variado. El flujo rápidamente variado también conocido como fenómeno local o salto hidráulico.

Recordando que el salto hidráulico sirve para la disipación de energía o elevación del agua en determinados casos.

1.7 Número de Reynolds.

Martinez Cañadas (1993), menciona que el número de Reynolds (Re) es un número adimensional relacionado con las características de flujo, el cual influye en el valor de las pérdidas de carga. Se define como la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en el interior de una corriente (Fuerzas de inercia).

Las fuerzas de inercia que actúan sobre un volumen, según Newton, son proporcionales a la siguiente ecuación:

$$Q * L^3 \frac{V}{T} = Q * L^2 V^2$$

Siendo Q = densidad del líquido.

Las fuerzas de fricción, $T * S$, que actúan sobre la superficie L^2 , son proporcionales a la sig. ecuación:

$$\mu * \frac{dv}{dy} * S = \mu \frac{V}{L} * L^2 = \mu * L * V$$

En donde μ = viscosidad absoluta del líquido y T = esfuerzo tangencial, por tanto:

$$Re = \frac{Q * L^2 V^2}{\mu * L * V} = \frac{Q * L * V}{\mu} = \frac{L * V}{\nu}$$

En donde:

V = velocidad media del agua.

L = volumen de líquido.

μ = viscosidad cinemática del agua.

1.8 Régimen de flujo.

Cañadas (1993), un canal la combinación del efecto de viscosidad y la gravedad puede producir cualquiera de estos tipos de regímenes de flujo:

- Flujo laminar:

En el flujo laminar o viscoso las partículas del líquido se mueven a lo largo de trayectorias uniformes. En este régimen se cumple la ley de newton de la viscosidad y gracias a eso frena la acción de la turbulencia.

- Flujo turbulento:

Este flujo es el más frecuente en la ingeniería dado que sus partículas se mueven siguiendo trayectorias erráticas, muy variables con torbellinos. No es posible un análisis riguroso de este flujo por lo que hay que recurrir a métodos experimentales.

- Flujo crítico:

El paso de régimen laminar a turbulento no es instantáneo, cuando se fuerza el fluido laminar a obtener una mayor velocidad comienzan a aparecer ondulaciones y si es constante se lleva a la turbulencia.

La clasificación de estos depende del número de Reynolds el cual el investigador en 1883 clasificó, obteniendo las condiciones críticas sobre las cuales se producen la transición de régimen laminar a turbulento. Dicha transición se produce para

- Régimen laminar $Re < 2000$
- Régimen turbulento $Re > 4000$
- Régimen laminar a turbulento $2000 < Re < 4000$

1.9 Fórmulas utilizadas en el diseño o revisión de canales.

En este apartado se habla en general sobre las ecuaciones que se utilizan en el diseño o revisión de canales la velocidad y el gasto que llevan tomando en cuenta la rugosidad presentada por sus paredes.

1.9.1 Fórmula de Chézy.

Desarrollada por el ingeniero francés Antoine de Chézy, siendo la primera fórmula de fricción que se conoce, fue presentada en 1769. Esta permite obtener la velocidad media en la sección de un canal y establece que:

$$V = C \sqrt{R * S}$$

Donde V = Velocidad del agua m/s.

C = Constante fórmula de Chézy.

R = Radio hidráulico.

S = Pendiente.

Esta es la fórmula de mayor difusión sobre el cálculo de diseño de canales.

1.9.2 Constante de Chézy (C).

Su determinación ha sido un hecho experimental de muchos autores a continuación se presenta algunas para la obtención de “C”

a) Gauguillet – Kutter.

$$C = \frac{\frac{23 + .00155}{s} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23 + .00155}{s} + \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

Donde:

S = Pendiente.

R = Radio hidráulico.

n = Coeficiente de kutter.

a) Fórmula de Bazin.

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$$

m = coeficiente de rugosidad de Bazin.

b) Fórmula de Manning.

$$C = \frac{R_6^1}{n} \quad n = \text{coeficiente de rugosidad de Kutter.}$$

Reemplazando en la fórmula de Chézy.

$$V = \frac{1}{n} R_3^2 S_2^1$$

Se ha demostrado que los resultados con el coeficiente “n” de Gauguillet-kutter llamado también Manning es más satisfactorio que el coeficiente “m” de Bazin. A continuación, se presenta una tabla con los coeficientes utilizados para las paredes de los canales. Como se muestra en la siguiente imagen:

Naturaleza de las paredes de los canales o conductos	n	m
1. madera bien sepillada	0.009	0.10
2. Enlucido con cemento muy liso.	0.010	0
3. material vítreo	0.010	0
4. Revocados con mortero de cemento.	0.011	0.10
5. madera sin cepillar	0.012	0.20
6. mampostería de ladrillo bien terminado.	0.014	0.40
7. mampostería de piedra bien labrada.	0.014	0.40

Imagen 1.0 Naturaleza de las paredes de los canales o conductos

Fuente: Cañadas (1993)

1.10 Energía específica de canales.

En este subtema se exponen los conceptos de energía y fuerza específica, los cuales son de gran significado y utilidad para el análisis cualitativo y cuantitativo del movimiento del agua en canales abiertos.

De acuerdo con Vicente M. (2001), la energía específica se define como la energía del flujo (por unidad de peso) en una sección particular de un canal midiendo la cota con respecto a un plano horizontal que contiene el punto de menor elevación de fondo como se indica en la imagen 1.1

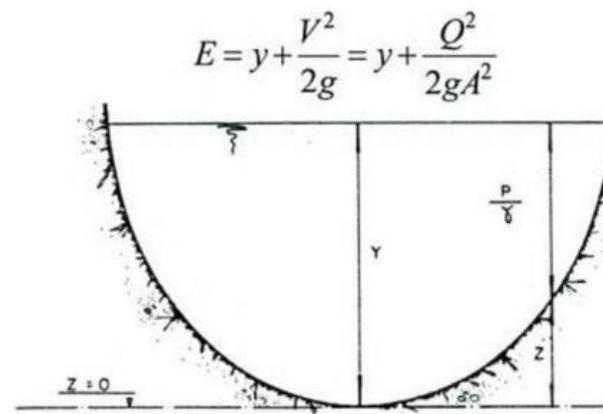


Imagen 1.1 Energía específica de canales

Fuente. Vicente M. (2001)

Por tanto, la energía específica siempre dependerá de la pendiente del fondo del canal o plantilla.

1.10.1 Interpretación de fenómenos locales.

Según la página de internet mecanicafluidos7mo.blogspot.mx/ (2016), en los canales abiertos es muy común apreciar cambios en el estado de flujo, tales cambios se dan por el cambio de profundidad. Si el cambio ocurre de forma rápida, a lo largo de una distancia considerablemente corta, el flujo es rápidamente variado y se conoce como fenómeno local. Dentro de este tipo de fenómenos encontramos la caída hidráulica y el resalto hidráulico.

- Caída hidráulica.

Es un cambio de profundidad rápido en la profundidad de nivel alto a bajo el cual resulta en una depresión abrupta de la superficie del agua. Cuando existe una discontinuidad en el fondo plano de un canal se presenta una caída libre la cual no se detiene hasta que este choque con algún obstáculo en la elevación más baja hasta que la energía acumulada sea disipada.

- Resalto hidráulico

Es el ascenso brusco de nivel del agua que presenta un canal abierto a causa del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a una velocidad elevada. Esta representa una pérdida de energía muy grande mediante disipación. En consecuencia, el contenido de energía en el flujo es menor después del salto hidráulico.

10.11 Rehabilitación, redimensionamiento y actualización al canal de conducción San Pedro Porúas.

Las consideraciones para el diseño de un canal son bastantes, pero al ya tener un canal diseñado este apartado se dispone para la comprensión del lector sobre los cambios que sufrirá el canal para mejorar su sección así lo mencionado por Pérez C. en su investigación nombrada diseño hidráulico de canales encontrado en extensión PDF (2016).

Las consideraciones que se deben tener presentes en el diseño de un canal generalmente son el caudal o gasto “Q” que se desea conducir y el gradiente “s” del que se dispone, así como el coeficiente de rugosidad “n” que dependerá del tipo de revestimiento que se escoja para el canal. El área mojada se calcula en función de la velocidad aceptable en el canal el cual debe variar entre .7 m/s y 2 m/s para evitar la sedimentación y la erosión.

La forma óptima de una sección hidráulicamente hablando, es aquella que con una superficie mojada mínima conduzca el caudal máximo. En lo referente al canal de San Pedro Porúas es un canal excavado con una sección indefinida lo más semejante a esta es una sección trapezoidal muy deteriorada será tratada para lograr un redimensionamiento óptimo y con esto un gasto mayor y una generación hidroeléctrica mejor a la que actualmente se tiene.

Se debe tomar en consideración la pendiente cuidando que no se generen saltos hidráulicos ni cambios bruscos en el flujo para obtener una conducción sin interrupciones tomando como base las cotas y el nivel del terreno natural. Ya que el canal mencionado con anterioridad ya está previamente diseñado esto se refiere a el trazo, nivelación y pendiente y todos los elementos geométricos, así como sus peculiaridades. Entonces se pretende realizar un rediseño tomando como base estos aspectos, pero optimizando el canal con una mejor conducción.

Una parte importante en el diseño de canales son las filtraciones algunos de los factores que afectan en la filtración de las aguas son:

- La permeabilidad del suelo.

- El tirante.

- Temperatura.

- Edad del canal.

- Gasto.

A continuación, se muestra una tabla con los porcentajes de pérdida de agua por filtración.

Caudal (m3/s)	Perdida en % del caudal por kilometro
0.03 - 0.1	6-12
0.1-0.2	12-9
0.2-0.3	9-6
0.5-1	4-6
1-1.5	4.5-3
1.5-2	3-2.5
2-3	2.5-1.8
3-10	1.1-0.6
10-20	0.6-0.5
20-50	0.5-0.2
50-100	0.2-0.15
100-200	0.15-0.05
200-300	0.05-0.02

Tabla 1.1.- Pérdida en % del caudal por kilómetro

Fuente: Pérez C (2016)

Por esta razón se pretende revestir el canal para disminuir la pérdida por filtraciones, así como la fricción y otros espectros que se presentan en los canales de tierra, en un canal revestido de concreto las pérdidas por fricción deben ser menor a .00000014 cm/s según lo menciona Uginchus. Y la fórmula para calcularlo sería:

$$P = K \frac{d}{t} (b + d\sqrt{1 + m^2})$$

Donde:

t = espesor del revestimiento.

K = permeabilidad del revestimiento de concreto que varía de .00001 a 0000001 cm/s.

b = ancho de la plantilla.

d = tirante

m = tangente al ángulo del talud con la vertical.

Una formula muy importante que no se había abordado en esta tesis es la obtención del gasto.

El gasto es la unidad de volumen de agua que conduce un canal multiplicado por el área de este.

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Gasto de la sección.

V = Volumen de la sección.

A = Área de la sección.

Dicho esto, el canal de la Central Hidroeléctrica San Pedro Porúas debe pasar por una transformación y un mejoramiento, partiendo desde su base hasta la modificación de su sección.

CAPÍTULO 2

REVESTIMIENTO DE CANALES

En el presente trabajo se habla sobre el concepto de revestimiento de canales, así como los tipos, las ventajas que ofrecen los revestimientos de canales, criterios de espesor, muros de mampostería, tipos y especificaciones, mortero, muros diafragma, muros con refuerzo interior, muros sin refuerzo y la dosificación de mezclas de concreto.

2.1 Concepto de revestimiento.

“Los Revestimientos son las terminaciones superficiales, que otorgan continuidad, sirven de decoración y protección.” (<http://www.construmatica.com/2016>).

El revestimiento debe cumplir con las siguientes pautas en su colocación:

- Ofrecer seguridad ante posibles desprendimientos.
- Elegir el mortero adecuado para evitar grietas.
- La disposición adecuada de las juntas de dilatación y retracción.

- Realizar una secuencia adecuada en la colocación del revestimiento.

Según Ramírez (2014), el recubrimiento de un canal permite la conducción de agua a mayor velocidad adecuándose al costo más efectivo disminuyendo la filtración y fugas de agua a través del cuerpo del canal, así como reducir y homogeneizar la rugosidad y con ello las medidas de la sección y la excavación, generando un menor costo en el trazo, también asegura la estabilidad de la sección evitando el intemperismo por la acción del clima y la desfiguración de la sección del canal. Evita el crecimiento de vegetación y reduce la destrucción de los bordos por algunos animales. Un aspecto importante a considerar es la reducción de costos en la operación y mantenimiento anual.

Los materiales de mayor empleo para el revestimiento de canales son:

- El revestimiento de mampostería.
- Revestimiento de concreto.
- Revestimiento con mortero.
- Revestimiento con concreto asfáltico.

- Revestimiento con colchones reno.
- Revestimiento con mantos permeantes.
- Revestimiento con Gaviones.

2.2 Tipos de revestimiento.

Existen varios tipos de revestimiento para los canales a cielo abierto que mejoran la conducción del fluido, reducen las pérdidas por infiltración y disminuye la erosión de la sección algunos de los cuales se hace mención a continuación.

2.2.1 Revestimiento con mampostería.

De acuerdo con Limahuay (2015), la mampostería constituye un excelente revestimiento de los canales. Los recubrimientos de mampostería (piedra, ladrillo, bloques, etc.) se pueden utilizar cuando estos materiales abundan y la mano de obra es económica y recomendable. Los de piedra pueden construirse juntando con mortero o simplemente acomodada (Zampeado). Como se muestra en la imagen. 2.1 que se presenta en la siguiente página.

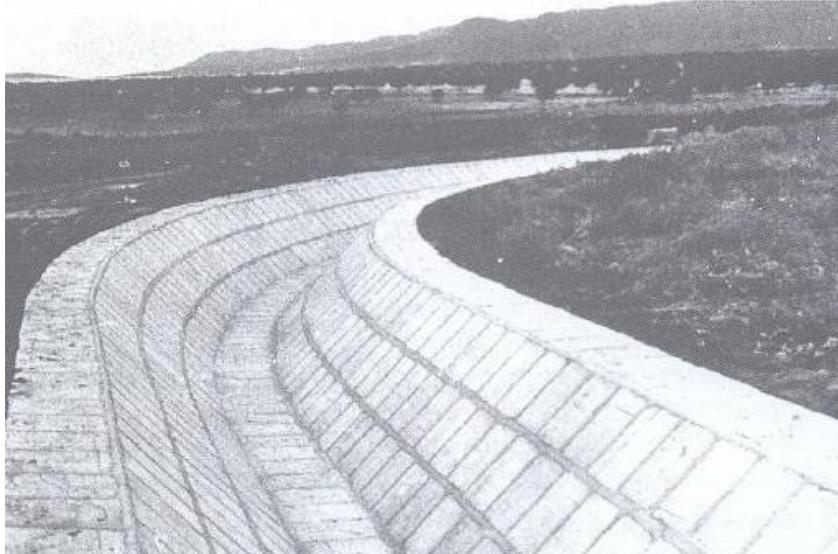


Imagen 2.1 Canal revestido con mampostería.

Fuente: <https://es.slideshare.net>

2.2.2 Revestimiento con concreto.

Limahuay (2015), hace mención que este tipo de revestimiento se utiliza cuando los cambios en la temperatura son extremos y hay fluctuaciones frecuentes del gasto. El acero de refuerzo se utiliza para evitar el agrietamiento del concreto que se dan por el resultado de la temperatura y controlar las grietas e infiltraciones. La sección del acero en sentido longitudinal es del 0.1 al 0.4% y en dirección transversal del 0.1 a 0.2% representa una parte importante del costo total y a veces posible suprimirlo mediante las juntas de construcción

El revestimiento de concreto, aunque implique un costo elevado también presenta muchas ventajas como el tiempo de vida que va de 50 a 80 años, así como el coeficiente de rugosidad y la erosión disminuyen considerablemente. Como se muestra en la imagen 2.2



Imagen 2.2 Canal revestido de concreto.

Fuente: <http://www.oem.com.mx/>

2.2.3 Revestimiento con mortero.

Limahuay (2015), dice que los revestimientos de mortero aplicado con pistola de cemento se usan comúnmente en los canales pequeños, pero el procedimiento deja la superficie rugosa que debe ser terminada a mano, además son propensos a fallas por la presión hidrostática. El espesor no es mayor de 5cm en taludes firmes, la arena debe ser cernida a través de la malla N° 4. Como se muestra en la imagen siguiente.



Imagen 2.3 revestimiento con mortero

Fuente: <http://www.videoneed.com/>

En esta imagen se muestra cómo un trabajador está aplicando el mortero a las paredes del canal (Taludes) de una manera correcta y adecuada.

2.2.4 Revestimiento con concreto asfáltico.

El concreto asfáltico es una mezcla de arena, grava, cemento y asfalto, realizada a temperaturas de 160°C o más, según el tipo de asfalto. Los recubrimientos de este tipo tienen algunas ventajas por su flexibilidad y resistencia a la erosión, si bien falla por intemperismo. Los espesores van desde 6.5 a 10 cm dependiendo las condiciones del canal. El asfalto se mezcla con arena y en ocasiones grava en proporción de 6 a 11% en peso y se le agrega después el material fino. Como se muestra en la imagen siguiente.



Imagen 2.4 recubrimiento con concreto asfáltico

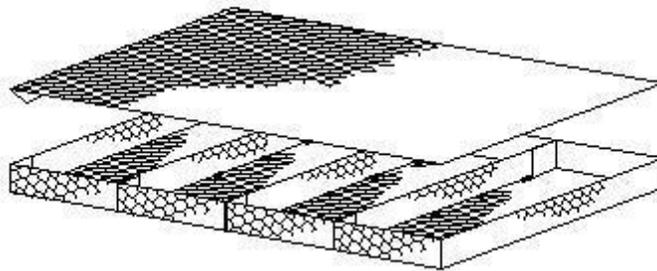
Fuente: <http://www.andex.com.pe/>

En esta imagen se aprecia cómo se aplica un revestimiento asfáltico a la sección de un canal el cual cuenta con una malla que ayuda al recubrimiento de este desde su plantilla hasta los taludes.

2.2.5 Revestimiento con colchones reno.

Limahuay (2015), menciona que los colchones reno pueden actuar como protección de márgenes y como revestimiento parcial o total del fondo, cuando es necesario estos colchones pueden ser utilizados para favorecer la rápida recuperación de la vegetación, integrando la canalización al medio ambiente.

En los canales de conducción los canales reno actúan como protección del elemento impermeabilizante en general como las geomembranas colocadas entre dos geotextiles no tejidos minimizando, debido a su peso, los efectos de la subpresión. Como se muestra en la imagen siguiente.



Colchón Reno

Imagen 2.5 Colchón Reno

Fuente: <http://lima-distr.all.biz/>

En esta imagen se muestra como es un colchón reno.

2.2.6 Mantos permanentes.

Según Limahuay (2015), los canales en tierra son susceptibles a la erosión por acción del clima y de la velocidad del agua o por crecimiento de vegetación en la plantilla o en los taludes en algunas ocasiones provocan la socavación de la sección modificando así su curso, velocidad o hasta el talud del canal, si bien el crecimiento de vegetación ayuda a la estabilización de taludes, pero pueden provocar fallas en la plantilla reduciendo su velocidad etc. Una de las plantas más usuales encontradas en canales de tierra son las denominadas colas de zorra.

Para los canales sin revestir en condiciones naturales de tierra sin vegetación que de soporte a los taludes se tiene la solución de mantos permeantes como es el Terratrac TRM el cual brinda una protección inmediata contra la erosión superficial del canal haciendo la función natural de la vegetación, gracias a su capacidad de resistir las fuerzas hidrodinámicas presentes en el flujo del agua, además sirve como soporte en el crecimiento de vegetación nativa y refuerza la vegetación madura logrando conservar la sección del cana y evitar las erosiones. Como se muestra en la imagen siguiente.



Imagen 2.6 Mantos permeantes

Fuente: revestimiento de canales de riego página 6

Esta imagen muestra como el canal es revestido con mantos permeables.

2.2.7 Revestimiento con gaviones para canales.

De acuerdo con Limahuay (2015), los revestimientos de gaviones sirven para dejar pasar la materia física como basura acumulada en algún cadenamiento el cual podría provocar el estancamiento y acumulación de la materia y teniendo como consecuencia la erosión y socavación de la plantilla o taludes de un canal de material de tierra, el muro gavión tiene como característica principal el paso de materia despreciando el empuje hidráulico. Los muros de gavión en el revestimiento de canales tienen de 20 a 30 cm de espesor en forma de colchón. Como se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 2.7.- Canal revestido con muros gaviones.

Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/>

2.3 Ventajas que ofrece el revestimiento de los canales.

Estas son algunas ventajas que considera el autor Limahuay (2015).

- Prevención de la erosión.
- al usar un revestimiento se previene la erosión ya que da soporte a talud.
- Imposibilidad de fracturas en el diseño.
- Al utilizar concreto para el revestimiento de canales se previenen las fracturas de diseño haciendo juntas de construcción esto provoca que el

agrietamiento del concreto sea inducido y no naturalmente previniendo una falla se servicio en el canal.

- Eliminación de vegetación.

- Al eliminar la vegetación corre el riesgo de desestabilizar el talud, pero también se elimina la acumulación de desechos generados por las plantas mayormente en la plantilla.

- Aumento de capacidad en el canal.

- Los revestimientos tienen la propiedad de no permitir las pérdidas por infiltración, disminuyendo la fricción, la rugosidad del material y algunos otros factores.

- Disminución de los costos de mantenimiento.

- Al revestir el canal con algún material se disminuyen los costos de mantenimiento ya que no existe o no debería de existir vegetación y esto reduce los desechos que pudiera transportar el canal.

- Optimización de la sección reduciendo curvas.

- La ventaja de revestir un canal es que se puede editar el trazo natural o actual del canal a la sección de mayor provecho disminuyendo las curvas y aumentando los tramos rectos.

- Pendientes permisibles.

- Si no se toma en consideración las pendientes permisibles éstas pueden generar problemas de flujo como se menciona en el capítulo uno del presente trabajo.

2.4 Criterios de espesor de revestimiento.

Según la Comisión Nacional del Agua (2010), no existe una regla general para definir los espesores del revestimiento de concreto, sin embargo, de acuerdo con la experiencia adquirida en la construcción de canales, se puede usar un espesor de 5 a 7.7 cm para canales pequeños a medianos, y de 10 a 15 cm para canales medianos y grandes. La malla electrosoldada da soporte y refuerza el suelo o en este caso los taludes de tierra, así como su fácil colocación y economía.

En el caso particular de las geomembranas se deben tomar en cuenta varias consideraciones:

- Para canales pequeños se debe usar una geomembrana de PVC y para canales grandes se debe usar geomembrana de polietileno – HDP.
- Los espesores de la geomembrana, varían entre 1 a 1.5 mm
- Si el canal se ubica en zonas donde puede ser vigilado permanentemente, por lo tanto, no puede ser afectada la membrana.

- Características y cuidado en las actividades de operación mantenimiento.
- Técnica y cuidado en las actividades de operación y mantenimiento.
- Los trabajadores deben estar capacitados para el correcto manejo de dicho tipo de revestimiento.
- También se puede usar asociada la geomembrana con un revestimiento de concreto; la geomembrana actúa como elemento impermeabilizante (el concreto se deteriora con las bajas temperaturas) y el concreto como elemento de protección, sobre todo cuando se trata de obras ubicadas por encima de los 4000 m.s.n.m. o zonas desoladas.

2.5 Muros de mampostería tipos y especificaciones.

Según los Apuntes Mampostería de la Facultad de Ingeniería UNAM (2016), la mampostería es el elemento estructural resultante de una serie de piezas que pueden ser de una variedad de distintos materiales acomodadas y junteadas con mortero el cual ayuda a la liga entre estos materiales.

2.5.1 Mampostería piezas naturales

La mampostería de piezas naturales se conoce como mampostería de segunda o tercera clase según la regularidad de las piedras que las componen. La

mampostería de segunda se forma con piedra labrada de una forma regular, a diferencia de la de tercera que se forma con piedra natural (también conocida como piedra braza). De acuerdo con los apuntes mampostería de la facultad de ingeniería UNAM (2016),

Las piedras empleadas deben estar previamente limpias y sin fallas internas o grietas, se deberán mojar completamente antes de proceder a su colocación para que estas no absorban la humedad del mortero, así mismo deberá verificar la correcta colocación de las piedras careándolas de la mejor manera, se recomienda que las piedras de una granulometría mayor se dejen por debajo y conforme disminuya su tamaño se podrá ir avanzando en la estructura. Los huecos que se presenten se deberán rellenar con piedras de menor tamaño y mortero.

2.5.2 Mampostería piezas artificiales.

Según los apuntes mampostería de la facultad de ingeniería UNAM (2016), Las piedras artificiales se pueden agrupar a grandes rasgos en dos grupos:

De barro:

Las piezas de material de barro adoptan el nombre de adobe, el cual, si se protege contra el intemperismo y bien reforzado, constituye un sistema constructivo que resulta económico y seguro. Las dimensiones más comunes de las piezas de

adobe son de: 10*(30-40) * (40-60) cm (Peralte, ancho, largo) aparte de barro se le agrega arena y/o paja para mejorar ligeramente algunas de sus propiedades (resistencia a tensión, agrietamiento por secado, etc.). Las piezas con barro cocido son las que se fabrican con /*14*28 cm, pero comúnmente son de 6* 12* 24 cm. El proceso de fabricación consiste en formar adobes mediante una masa de barro con arena y algunas ocasiones desperdicios industriales, para después someterlos a un proceso de cocción que tiene por principal resultado mejorar las propiedades mecánicas.

De cemento:

Son una mezcla de agregados pétreos con cemento las cuales son empleadas muy usualmente en la construcción de muros. Son principalmente dos tipos de piezas:

Bloques de concreto.

Por lo general, son tres tipos de bloques: ligero, intermedio y pesado. Se clasifican así por su peso, los bloques ligeros están fabricados con agregados de bajo peso volumétrico por lo que se recomienda que sean empleados solo en interiores; los bloques de tipo intermedio contienen arenas y en ocasiones gravas las cuales aumentan su peso volumétrico y mejoran las características de resistencia.

Tabiques de concreto:

A estos comúnmente se les conoce como tabicones y existe una gran variedad dependiendo del tipo y la cantidad de agregados que se empleen en su elaboración.

2.6 Mortero.

Como menciona los apuntes mampostería de la facultad de ingeniería UNAM (2016), una parte fundamental de la mampostería es el mortero ya que la resistencia de la mampostería no solo la determina la piedra sino la correcta mezcla de agregados que hace el mortero el cual sirve para juntar una piedra con otra. El proporcionamiento usualmente es por volumen y se representa por tres indicadores (A: B: C); el primero indica la cantidad de mezcla, el segundo es la proporción de cal, y el tercero es la proporción de arena que llevará la mezcla. Recordando que la cantidad de agregados o la variación que pueda existir entre ellos dependerá la resistencia de la mezcla final, concreto. Por ejemplo 1: 0: 3; 1: ½: 4.

Estos morteros se emplearán para la construcción de mampostería de bloques y tabiques tradicionales (tabique, piedras y otros materiales), en caso de piezas de materiales distintos deben emplearse las proporciones que recomiende el fabricante.

El mortero se elabora con la cantidad mínima de agua necesaria para obtener una pasta manejable. Para el mezclado y remezclado se deben respetar los siguientes requisitos:

- Mezclado: la consistencia del mortero se ajusta tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con la fácil colocación. Los materiales se mezclan en un recipiente no absorbente cuidando que el tiempo de mezclado, una vez que se agrega el agua, no sea menor a tres minutos.

- Remezclado: si el mortero comienza a endurecer se puede agregar agua hasta que adquiera la consistencia deseada, los morteros a base de cemento normal deben usarse dentro de un lapso de dos y media horas a partir del mezclado inicial.

La siguiente tabla muestran las proporciones de mortero.

Proporcionamiento de Mortero

Proporción Volumétrica	Consumo por metro cúbico de mezcla	
	Mortero (kg)	Arena (m3)
1:2	566	0.859
1:3	432	0.984
1:4	349	1.061
1:5	294	1.116
1:6	254	1.156
1:7	224	1.193
1:8	200	1.218
1:9	182	1.246
1:10	167	1.265
1:11	154	1.285
1:12	163	1.303

Tabla 2.1.- Proporcionamiento de mortero

Fuente: Apuntes mampostería de la Facultad de Ingeniería UNAM (2016),

En esta tabla se observan las proporciones de agregados para una buena mezcla.

2.7 Muros diafragma.

En construcciones cuya estructura principal es a base de marcos de concreto o de acero, existen frecuentemente muros de mampostería los cuales rellenan el claro entre columnas formados por un diafragma que incrementa notablemente la rigidez del conjunto ante cargas laterales. Si se desprecia en el análisis el efecto de estos muros, se puede cometer errores en la estimación de las fuerzas que actúan en los distintos elementos. En este caso hay dos opciones: desligar los muros para que los movimientos de la estructura no les afectan (cabe mencionar que es un aspecto difícil de lograr) o no desligarlos y revisar que los esfuerzos y deformaciones que se inducen en la estructura puedan ser resistidos por la mampostería.

En caso de desligar los muros hay que procurar que la holgura entre marco y muro sea suficientemente amplia para permitir los desplazamientos laterales sin que se llegue a tener contacto con los muros y proporcionar a los mismos resistencia a los empujes normales a su plano por medio de refuerzo o de apoyos deslizantes sobre la estructura principal.

Los muros que no están desligados de una estructura a base de arcos reciben el nombre de muros-diafragma y su función es rigidizar a una estructura para el efecto de las fuerzas laterales. Las columnas y vigas, a una cuarta parte de su longitud libre media a partir de cada esquina deberán ser capaces de resistir, cada una, una fuerza cortante que es igual a la cuarta parte de la fuerza que actúa

en el tablero. De acuerdo con los apuntes mampostería de la facultad de ingeniería UNAM (2016).

2.8 Muros con refuerzo interior.

De acuerdo con los Apuntes Mampostería de la facultad de Ingeniería UNAM (2016), el procedimiento que se emplea con mayor frecuencia en países con zonas sísmicas, es el refuerzo de muros de piezas huecas colocando barras verticales en los codos de las piezas y barras horizontales en piezas especiales o en las untas entre hiladas. En cambio, en México su construcción ha sido limitada ya que no puede ser supervisado de tal manera que el refuerzo esté colocado de acuerdo con las especificaciones de los planos.

2.9 Muros sin refuerzo.

Los muros sin refuerzos deben ser evitados en las zonas sísmicas ya que podrían sufrir fallas. La mayor parte de los daños materiales y perdidas de vida humanas a raíz de los temblores importantes, han sido a raíz del colapso de las estructuras en las cuales se emplearon materiales sin refuerzo, de baja resistencia o esta misma se deteriora rápidamente con el tiempo, el mal uso de los materiales que no permita una liga adecuada entre muros, así como las pocas separaciones interiores y los techos muy pesados.

La mayoría de estas formas constructivas se adoptan debido a la falta de recursos económicos, los cuales permiten la compra de materiales de bajo costo, la

mayoría de estos métodos de construcción son adoptados por los mismos habitantes. Comúnmente en las casas se encuentran modificaciones sin la supervisión de un ingeniero o arquitecto sin obtener seguridad ante un sismo.

Cuando se trata de viviendas en las que se pueda invertir en materiales comerciales, como el ladrillo, el cemento y el acero, se puede obtener una seguridad adecuada contra sismos, así como el empleo de muros de mampostería reforzado de distintas maneras para proporcionar una mayor seguridad y resistencia en la edificación. De acuerdo con los apuntes mampostería de la facultad de ingeniería UNAM (2016),

A continuación, se presentan algunas imágenes sobre la colocación de la piedra en muros de mampostería.

LINDEROS

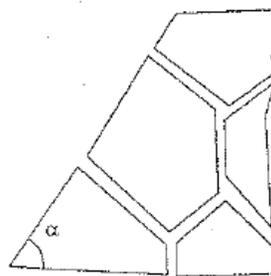


Imagen 2.8 Linderos

Fuente: Imagen extraída del manual de mampostería de la UNAM.

En esta imagen se muestran los linderos entre las piedras y las juntas de mortero y la colocación de las piedras, la cual como se menciona anteriormente es una parte fundamental en la elaboración de muros de mampostería,

INCORRECTO

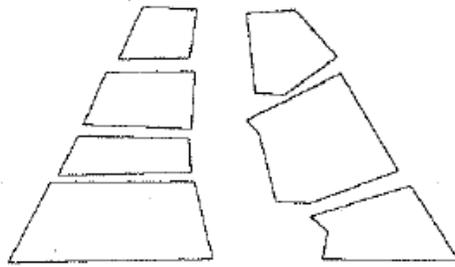


Imagen 2.9 Forma incorrecta de armar la mampostería

Fuente: Imagen extraída del manual de mampostería de la UNAM.

Esta imagen muestra la manera incorrecta de juntar las piedras con la mezcla de mortero ya que no se genera una liga correcta entre piedra y piedra y esta puede presentar agrietamientos y pérdida de resistencia.

INCORRECTO

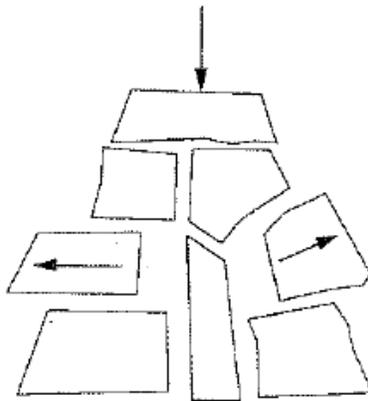


Imagen 2.10 Manera incorrecta de acomodar la piedra en muros

Fuente: Imagen extraída del manual de mampostería de la UNAM.

En esta imagen se muestra la manera incorrecta de la colocación de la piedra en los muros de mampostería notando la malformación de la figura, así como la separación entre estas las cuales pueden presentar fallas en la estructura y una resistencia mínima hasta el colapso.

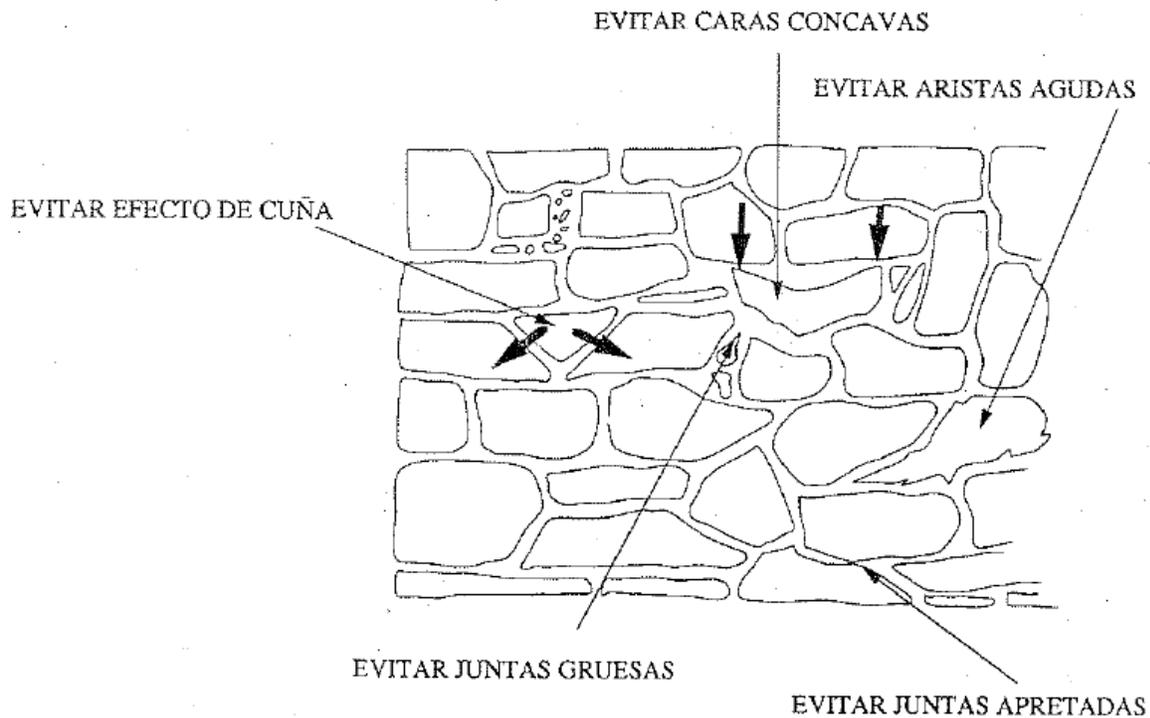


Imagen 2.11 Evitar juntas gruesas

Fuente: Imagen extraída del manual de mampostería de la UNAM.

En la colocación de piedras se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones como evitar el efecto de cuña como se muestra en la imagen la cual puede presentar desplazamientos tratando de acomodarse entre las juntas de las piedras, también se deben evitar las juntas o ligas de mortero gruesas, se deben

evitar también colocar piedras con aristas agudas, si las piedras llegan a presentar este tipo de formación, lo más recomendable es moldearla a base de marro o no utilizarla ya que con el tiempo presentará desprendimientos en los bordes, si bien se hace mucho énfasis en las juntas entre mortero y piedra es porque si las juntas son demasiado justas entre piedra y piedra puede no adherirse bien y presentar fallas en la estructura.

2.10 Dosificación de mezclas de concreto.

De acuerdo con Segura (1993), el concreto es una mezcla de agua y agregados como; el cemento la arena, grava, los cuales dan como resultado a una mezcla llamada concreto, la dosificación de la mezcla de concreto, consiste en conocer la proporción de los agregados ya que de las dosificaciones utilizadas depende la resistencia del concreto.

Existen dos métodos de dosificaciones: dosificación en peso y dosificación en volúmenes de los componentes de concreto. En ambas los agregados deben ser libres de materia orgánica, así como la granulometría y la dureza recomendable o especificada, una parte muy importante en la mezcla de los agregados es el agua, debe estar limpia sin materia orgánica, libre de sales, ácidos, etc. El cemento también debe presentarse fresco y en buenas condiciones, fresco se refiere a no presentar partes previamente húmedas ni expuestos cambios en sus moléculas o mezclado con materia inorgánica u orgánica, debe estar sellado antes de la aplicación.

La dosificación en peso, es la más recomendable, ya que es económica y ofrece un buen resultado, pero es necesario contar con una dosificadora la cual consta de una balanceadora de materiales de buena calidad, equipo de transporte, mezcladora, agregados por diámetros, dosificadora de cemento, etc.

La dosificación en volúmenes es una deducción lógica de peso, donde estos se convierten a volúmenes, en base de los pesos volumétricos de los agregados y el cemento.

Las proporciones en volumen, se dan en una sola unidad de volumen para todos los agregados, a excepción del agua.

Los datos que se muestran en la siguiente tabla, han sido deducidos de la dosificación en peso, y se han estado empleando con mucha confiabilidad.

f'c	Proporción de cemento y agregados: c : a : p	Agua (lit/bolsa)
140	1 : 2 : 4	28
175	1 : 2 : 3	25
210	1 : 2 : 2	22

Tabla 2.1.- Proporción cemento y agregados

Fuente: Trazo y revestimiento de canales. Segura (1993)

Las proporciones varían de acuerdo con la resistencia y a la compresión (f'c), esta resistencia dependerá del tipo de obra a realizar, pero generalmente se trabaja con los concretos que se presentan en esta tabla.

Significa que para conseguir un $f'c$ de 140 kg/cm² es necesario mezclar una bolsa de cemento, dos de arena y cuatro de piedra a 28 litros de agua.

Para el caso de revestimiento de canales el espesor debe ser de dos pulgadas (2") o el equivalente de este que es cinco centímetros, por tanto, la piedra triturada o grava debe ser de media pulgada, en las obras donde se utilicen carretillas se debe calibrar la carretilla, es decir, tener conocimiento sobre los pies cúbicos que cargará tomando en cuenta que las carretillas van al ras.

Cabe destacar que un buen concreto no sólo depende de las dosificaciones sino de otros factores como son:

- Relación agua cemento, en peso
- Si se agrega más agua de la necesaria, la resistencia de la mezcla baja y la estructura puede fallar al recibir los esfuerzos de compresión.
-
- Mezclado
- El mezclado del concreto debe hacerse preferentemente con mezcladora ya que tiene que ver el tiempo de mezclado que no debe ir más de 1.5 minutos, así como el orden de los agregados.
-
- Transporte
- El transporte del concreto puede ser en horizontal y vertical. En horizontal cuando hay que trasladarlo en el mismo nivel a ciertas distancias y el vertical cuando hay

que subir de un piso a otro. Los transportes no deben inducir vibraciones antes de su colocación, de lo contrario la grava se separará del concreto fresco.

- Colocación

- La colocación debe aplicarse desde una altura que no afecte la segregación de los materiales.

- Consolidación

- La consolidación del concreto consiste en la vibración del material cuando ya está colocado para eliminar las posibles burbujas de aire

- Curado

- El curado del concreto consiste en que debe perder la humedad en forma lenta, el curado facilita el alcance de su resistencia de diseño, además como que sea impermeable y durable. Esto se consigue cubriendo al concreto con gua durante no menos de 14 días, inmediatamente después del primer día de vaciado, mucho depende de la temperatura del lugar, el clima, etc.

CAPÍTULO 3

RESUMEN EJECUTIVO DE MACROLOCALIZACIÓN Y MICROLOCALIZACIÓN

Este capítulo menciona de manera generalizada y también enfocada a la zona de estudio, su ubicación y algunos datos específicos del lugar antes mencionado en esta tesis.

3.1 Generalidades.

El presente proyecto se basa en un canal existente el cual debe ser rehabilitado para un correcto funcionamiento, debe tener datos mínimos como son a localización exacta, así como la información topográfica, información de la generación hidroeléctrica, así como un aforo del caudal, la vegetación, y todo lo referente al sitio.

3.1.1 Objetivo.

Este trabajo tiene como objetivo rehabilitar y revestir una sección de conducción de agua que está deteriorada por el paso de los años ya que no cuenta con un revestimiento y por tanto presenta socavaciones, así como obstáculos en su plantilla y el azolve acumulados por los años.

3.1.2 Alcance del proyecto.

Este proyecto se centra en la rehabilitación y revestimiento del canal de conducción que se encuentra en la localidad de San Pedro Porúas.

La rehabilitación del canal es necesaria ya que el canal precede de cien años aproximadamente con mantenimientos minoritarios en sus secciones sin afectar físicamente al canal, los mantenimientos consistían en retirar posibles caídos o la limpieza del azolve que se generaba a lo largo de la sección, sin embargo el actual proyecto pretende modificar la sección del canal la cual lleva un gasto muy pequeño ya que si se aumentara el gasto posiblemente se desbordaría, aunque cuenta con las medidas adecuadas al ser de tierra y por el tiempo que tiene difícilmente se mantendría en su cauce o más aun socavaría gran parte del canal. Por tal motivo se hace una propuesta de diseño de una sección que pueda llevar un gasto mayor sin ningún problema y para esto se requiere de un revestimiento el cual impida la erosión por intemperismo o por un aumento en el gasto. Este proyecto abarca desde el cadenamiento del KM 0+004 AL KM 1+238.4 porque a partir de esa cota existe un sifón que lleva el agua hasta el sitio requerido el cual no se abarcará en este trabajo.

3.2 Resumen ejecutivo.

Se presenta una propuesta de rehabilitación y revestimiento para el canal de conducción de agua de la localidad San Pedro Porúas, la cual consiste en conocer

la sección actual del canal y para esto se realizaron varias visitas al lugar en las cuales se hicieron un aforo del cauce, así como un reconocimiento a lo largo del canal haciendo anotaciones y tomando fotos que servirán como evidencia para las observaciones, para obtener la sección que pueda conducir un gasto de 1.6m³/s la cual es el gasto de diseño ya que la turbina que se sitúa aguas abajo tiene como máximo de generación el gasto antes mencionado, se utilizara el programa AutoCAD para el diseño y revisión de las secciones, así como un programa que lleva por nombre Hcanales el cual sirve para la optimización y revisión de los cumplimientos de la sección propuesta. Al hacer esto se pretende lograr una mayor generación de energía hidroeléctrica ya que en las condiciones actuales opera a un 12.5 % de su capacidad aproximadamente.

3.3 Entorno geográfico.

Este subtema hace mención de Michoacán de manera general, así como del municipio y localidad en la que se encuentra el sitio de interés o sitio de estudio. Se habla sobre el tipo de uso de suelo, flora, fauna y otros datos específicos del sitio.

3.3.1 Macro y microlocalización.

El estado de Michoacán está situado dentro del país conocido como México el cual es un lugar de hermosos paisajes y cuenta con una inigualable flora y fauna siendo por esto un lugar de envidia para los demás estados. Dentro del estado de Michoacán se encuentra un municipio de nombre San Pedro Piedras Gordas el cual

alberga a ciento catorce habitantes de los cuales cincuenta y ocho son hombres y cincuenta y seis son mujeres.

Macrolocalización.

En la imagen 3.1 se muestra la macrolocalización del estado de Michoacán el cual se encuentra dentro del país de México, siendo este estado un lugar rico en vegetación, y actividades agrícolas muy importantes para el país.



Imagen 3.1 Macrolocalización

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

Microlocalización.

En la imagen 3.2 se muestra la microlocalización del sitio San Pedro Piedras Gordas como esta población no aparece como tal en google maps se marcó con un punto rojo su localización



Imagen 3.2 Microlocalización

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

3.3.2 Geología Regional y de la zona en estudio.

Para poder tener acceso a la localidad de San Pedro Piedras Gordas se debe llegar por el municipio de Villa Madero y adentrarse algunos kilómetros entre la brecha, donde se puede apreciar hermosos relieves, vegetación, y peculiaridades del lugar como es el agave.

3.3.3 Hidrología regional y de la zona en estudio.

La zona hidrológica de la región se constituye por los ríos Carácuaro y los arroyos de Porúa, Zirapio y por Juntas. El arroyo de Porúa es el que abastece a la presa derivadora primaria la cual cuenta con un vertedor de cimacio el cual continuamente está operando ya que cuenta con demasiada precipitación, así como un operador físico el cual se encarga de regular el paso del agua hacia el canal ya que si sube demasiado el gasto por las condiciones del canal podría ocasionar problemas.

3.3.4 Uso del suelo regional y de la zona de estudio.

En la zona de estudio el suelo tiene un uso agrícola como mayor utilización, no hay ganadería cercana, y aparentemente no tiene una gran zona turística ya que el pueblo más cercano llamado san pedro piedras gordas es un pueblo con poco desarrollo y contados habitantes en cuanto al comercio es un lugar en donde se produce aguacate, la flora de este sitio es básicamente bosques y montes predominan el pino, encino, cedro, oyamel y parota. árboles frutales como capulín, durazno, manzana, aguacate, limón. Entre otras. En cuanto a la fauna ahora consta de escasos venados y conejos silvestre, ardilla, comadreja, coralillo, tuza, petirrojo, carpintero, jilguero, colibrí, paloma, cuervo. Será muy difícil encontrar algo extra a esto ya que la zona de estudio está alejada de los pueblos.

3.4 Informe fotográfico.

A continuación, se muestra un informe fotográfico donde se observa las secciones del canal en condiciones actuales y una breve descripción sobre ellas.

En la siguiente imagen se muestra la salida del agua por medio de un vertedor hacia el canal la cual proviene de una presa derivadora.



Imagen 3.1 Salida del vertedor.

Fuente: Propia (2016).

En esta imagen se aprecia el inicio de las secciones del canal la cual se tomó como el cadenamiento 0+004 se observan rocas a media sección, así como la forma que tiene el canal y el material.



Imagen 3.2 Inicio del canal

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se aprecia las condiciones de los taludes del canal los cuales parecen estables y con vegetación.



Imagen 3.3 Secciones del canal

Fuente: Propia

En esta imagen se aprecia que en la sección del canal existen caídos y necesitan ser retirados de lo contrario afectan el correcto funcionamiento del canal.



Imagen 3.4 Caídos

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se aprecia la cola de zorra en la plantilla del canal. La cual funciona como azolve y disminuye la velocidad del canal.



Imagen 3.5 Cola de zorra

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se observa vegetación en el canal, así como la llamada cola de zorra, se pretende lograr una solución al limpiar los taludes y la plantilla y revestir.



Imagen 3.6 Vegetación en el canal

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se observa socavación en la margen izquierda del canal supuesto por la erosión ambiental, así como la acumulación de la cola de zorra.



Imagen 3.7 Socavación en los taludes

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se observa bastante azolve acumulado en la plantilla del canal el cual se presenta por la sección reducida y los residuos de los arboles cercanos.



Imagen 3.8 Azolve en plantilla

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se aprecia el final del canal y el inicio de la tubería, así como el azolve acumulado.



Imagen 3.9 Final del canal

Fuente: Propia (2016)

3.4.1 Problemática.

Las condiciones actuales del canal no son las mejores, si bien son funcionales son completamente mejorables en este subtema de habla sobre los problemas actuales y su posible solución.

3.4.2 Estado físico actual.

Las condiciones de canal actualmente son funcionales pero mejorables a lo largo de sus secciones como se muestra en el subtema anterior en el reporte fotografico el cual muestra las condiciones actuales fisicas visuales del canal

3.5 Alternativas de solución.

Se optó por el estudio en base de las ecuaciones y teorías de Chézy, Bernoulli, entre otros ya que se adaptan adecuadamente al propósito sin embargo existe otro tipo de soluciones más pragmáticas, pero sin fundamentos que respalden el trabajo.

3.5.1 Planteamiento de alternativas

Es posible impedir el paso del agua y dejar seco el canal por cierto tiempo, gracias a esto se puede hacer limpieza, trazo y nivelación sin tener que hacer un canal secundario o de desvío el cual consiste en desviar el paso del agua del canal sin detener su propósito. Para realizar el corte y terraplén se pretender usar un Bobcat la cual mide aproximadamente dos metros de base y cabe perfectamente

en el diseño de sección optima, se optó por este método ya que el traer personal a realizar este trabajo complica las cosas ya que se necesitaría más tiempo sin contar el incremento en el costo.

Como material de recubrimiento se opta por el material denominado concreto ya que se adapta bastante bien a la solución, sin embargo, la mampostería no queda del todo descartada de no ser por el hecho de que en el sitio no se cuenta con la suficiente piedra o material para lograr un recubrimiento adecuado, las membranas son demasiado caras, y los muros de gavión no se adaptan a este trabajo. Además que el concreto maneja un factor de fricción muy bajo y no afectará a la velocidad del canal y cuenta con la facultad de agregarle acelerantes o aditivos que mejoran las funciones del fraguado del concreto en este caso haciendo menor el tiempo de espera y logrando hacer que el canal regrese a su propósito en el menor tiempo posible, una plantilla de concreto es más fácil de aplicarle un tratamiento o en su defecto un mantenimiento o desazolve de las posibles partículas que se asienten con el paso del tiempo y permite la visibilidad de la misma haciendo a este material el mas a adecuado a la necesidad.

3.6 Proceso de análisis.

Los procesos de recolección de información son gracias a Comisión Federal de Electricidad, así como el transporte, el aforo realizado en el cual mantuvieron siempre su apoyo para el correcto aprendizaje y elaboración del mismo, así como el apoyo de programas como son: el AutoCAD en la versión 2014, un programa que sirve para el análisis y diseño de la sección de un canal llamado Hcanales en

su versión 3.0. el levantamiento topográfico es otorgado por C.F.E (Comisión Federal de Electricidad). Así como el uso de Excel 2016, Word 2016.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

Este capítulo consta del método empleado, enfoque de la investigación, el diseño de la investigación, así como el instrumento de recopilación de datos y la descripción del proceso de investigación.

4.1 Método empleado.

En este trabajo se utiliza el método científico el cual es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan los sucesos específicos, este es caracterizado usualmente por ser verificable, de razonamiento riguroso, tentativo y de observación empírica. Según refiere Tamayo y Tamayo (2003). Cohen y Nagel indican que el “Método científico es la persistente aplicación de la lógica para poner a prueba nuestras impresiones, opiniones o conjeturas, examinando las mejores evidencias disponibles en favor y en contra de ellas”.

Por tanto, el método científico es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis. El descubrimiento de verdades no es lo fundamental en el método científico, sino más bien demostrar que en un enunciado es así, pues cada ciencia plantea y requiere de un método especial. Las etapas del método científico son:

- Identificación de un problema:

- Se presenta un problema y se encuentra sin los medios para llegar al fin deseado o simplemente no puede explicar un acontecimiento inesperado.
- Identificación de la dificultad:
 - Se efectúan observaciones que permiten definir la dificultad del problema.
- Propuesta para resolver el problema:
 - Hipótesis a partir de estudios realizados, se definen posibles soluciones al problema.
- Deducción de las consecuencias de la solución propuesta:
 - Llegar a la conclusión que si la hipótesis es cierta entonces también tendrá consecuencias.
- Verificar la hipótesis mediante la acción:

- Se pone a prueba la hipótesis buscando consecuencias, con eso se logra encontrar la solución más confiable para el problema.

Las características del método científico según Ander-Egg, Ezequiel (1995) pueden encontrarse en las siguientes:

Fácticas: tiene una referencia empírica.

Trascienden los hechos: se va más allá de la realidad.

Verificación empírica: valiéndose de la verificación empírica para formular respuestas a los problemas planteados y para apoyar sus propias afirmaciones.

Autocorrectivo: va rechazando y modificando o reajustando las conclusiones, abierto a nuevos aportes y nuevas técnicas.

Formulación de tipo general: presume que todo hecho es clasificable o legal.

Objetivo: un hecho es un dato real y objetivo, por tanto, no sólo se logra el objetivo, sino que evita la distorsión de las consecuencias.

4.1.1 Método matemático.

Este método es producto de una abstracción de un sistema que: elimina las complejidades y hace suposiciones pertinentes, aplicando una técnica matemática se obtiene una representación simbólica del mismo. Un método matemático consta

de al menos tres aspectos básicos de elementos:

- Variables de decisión y parámetros: incógnitas que se determinan a partir de la solución del modelo.
- Restricciones: son las relaciones entre las variables de decisión y magnitudes que dan sentido a una solución.
- Función objetivo: es una relación matemática entre las variables de decisión, los parámetros y una magnitud representativa del objetivo.

Este trabajo tiene un enfoque matemático, ya que se tienen incógnitas las cuales hay que resolver utilizando un método matemático.

4.2 Enfoque de la investigación.

“El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.” (Hernández y Cols.;2010;46)

El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos es secuencia y probatorio, cada etapa es esencial y no se puede saltar de una a otra sin pasar por cada una de ellas, su orden es riguroso. Como se muestra en el siguiente diagrama:

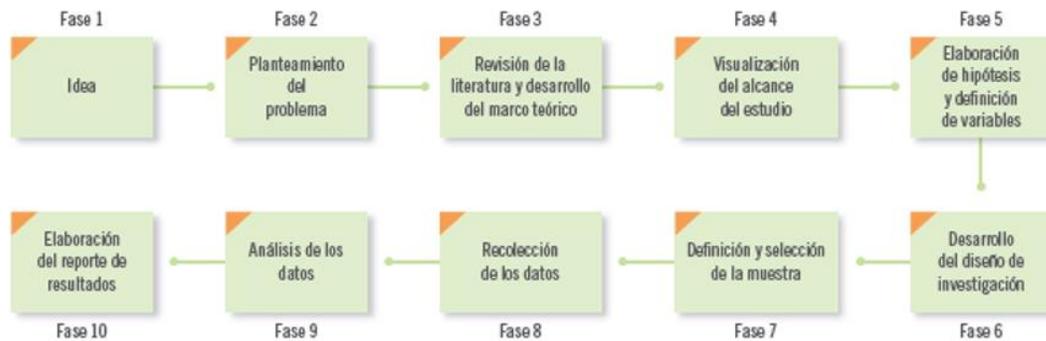


Diagrama 4.1 En este diagrama se muestran las fases del enfoque cuantitativo

Fuente: Hernández y Colaboradores (2010).

Algunas de las características de este enfoque de investigación son:

- 1.- Se plantea un problema de estudio delimitado y sus preguntas de investigación son sobre éste.
- 2.- Una vez planteado el problema de estudio, se toma a consideración lo que se ha investigado anteriormente sobre el tema y se construye un marco teórico esta es la teoría que guía al estudio.
- 3.- Las creencias denominadas hipótesis se generan antes de analizar y recolectar los datos.

4.- La recolección de datos es fundamentada sobre literatura.

5.- Debido a que los datos sin productos de mediciones se representan mediante cantidades las cuales debes ser llevados a un método matemático.

De acuerdo con estas características este trabajo es tiene un enfoque de investigación cuantitativa ya que presenta las mismas características que lo ya descrito.

4.2.1 Alcance de la investigación.

Existen cuatro tipos de alcances en una investigación, los cuales son exploratorios, correlacional, descriptivo y explicativo, para este trabajo se toma como descriptivo. Esta reflexión es importante ya que de esto depende la estrategia de la investigación.

El alcance de investigación a seguir depende de dos factores:

El estado de conocimiento sobre el problema de investigación que muestra la literatura, así como la perspectiva que se pretenda dar al estudio. La investigación descriptiva “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno menos que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.” (Hernández y Colaboradores.;2010:120)

Con frecuencia un investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y otros eventos que detallen como son y cómo se manifiestan. Los estudios de esta magnitud buscan especificar cualquier fenómeno que se someta a un análisis.

Es decir, recolectan información de manera independiente o conjunta sobre conceptos o variables necesarios. Esta tesis es de alcance descriptivo, ya que recolecta información sobre la investigación, se somete a análisis y se transcribe.

4.3 Diseño de la investigación.

Según Hernández y Cols. (2010), existen dos tipos de diseño de la investigación: la investigación experimental y la no experimental. La investigación no experimental es un estudio que se realiza sin manipular variables y sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después ser analizados. En este estudio no se genera ninguna situación sino más bien se estudian situaciones ya existentes ya que estas ocurren y no es posible manipularlas, al igual con sus efectos. A diferencia de un estudio experimental el cual se manipula de manera intencional las variables para ver los diferentes tipos de resultado influyendo sobre ellos.

Este trabajo es no experimental, ya que al tratarse de un canal natural de algunos cien años de antigüedad los resultados de las variables son proporcionados sin ser modificados. Además, es un estudio transeccional ya que recopila información en un momento único. Existen dos tipos de diseño no experimentales:

- Investigación transeccional: investigación que recopila datos en un momento único.
- Investigación longitudinal: los datos se recopilan a través del tiempo.

A su vez la investigación transeccional se divide en:

- Exploratorio: comenzar a conocer una variable
- Descriptivo: indagar la incidencia de los niveles de una o más variables

Correlacionales-casuales.

4.4 Instrumento de recopilación de datos.

Para la realización de esta tesis se utilizó el programa AutoCAD 2014, herramienta muy útil para la elaboración de planos utilizada por la mayoría de ingenieros civiles, con la extensión CivilCad. Otros programas utilizados fueron el Excel 2016 excelente para realizar hojas de cálculo, Word 2016 facilita la escritura y elaboración de reportes, Hcanales 3.0 programa que calcula pendiente, tirante y otros aspectos de una sección de un canal,

4.5 Descripción del proceso de investigación.

Como primer paso se identificó un problema existente, las variables que se tienen y elaborar una o varias preguntas de investigación. Después de esto se comienza a recolectar información para una mayor comprensión sobre el tema e ir

aclarando el panorama con las soluciones y respuestas a las preguntas de investigación que surgieron. Con esto se tiene siempre presente que la solución al problema debe ser económica y resistente, con un cálculo bien elaborado a esto se le llama eficiencia. Por último, realizar una memoria de cálculo.

CAPÍTULO 5.

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se habla sobre los cálculos realizados y los análisis e interpretación de resultados para la comprensión de este trabajo.

5.1 Aforo del caudal actual y levantamiento topográfico.

En este apartado se hace mención sobre algunos aspectos básicos que se deben de tomar en cuenta al realizar un aforo, la herramienta y los resultados obtenidos de este, que se tiene del sitio de estudio el cual se menciona en los capítulos anteriores.

5.1.1 Aforo.

Un aforo es según la Universidad de San Carlos en Guatemala, es la determinación de agua que lleva un caudal, es de vital importancia realizar un aforo cuando se pretende hacer un estudio de un cuerpo de agua para saber la cantidad que este lleva, más aún si se pretende diseñar una estructura o impedir, desviar aumentar, reducir el flujo del agua.

Para la realización de este aforo se utilizó el método del molinete, ya que es efectivo, práctico, rápido y se cuenta con la herramienta. Siendo un molinete un aparato de paletas las cuales son impulsadas por el fluido dan ciertas vueltas directamente proporcional de la velocidad de la corriente con la que son golpeadas.

Este tipo de molinetes necesitan una ecuación de re calibración dependiendo el modelo de molinete, el molinete a utilizar es de marca Lovy 2269 fijo para este se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{rev}{t} (.6704) + .0036$$

El método de aplicación fue el siguiente: este proceso es muy sencillo ya que consiste en medir una sección transversal de caudal previamente elegido el cual debe cumplir con estos requisitos.

- Sección uniforme
- Fácil acceso, evitar curvas.

El molinete se instala por debajo del espejo del agua utilizando el método de seis decimos el cual es un método superficial y se utiliza cuando la plantilla de la sección es visible haciendo posible una sola medición, se deben marcar a cada .20 metros ó 20 cm a lo largo de la sección a aforar para tener mayor certeza sobre la velocidad que pasa por dicha sección. Se introduce el molinete en el arroyo y se colocan unos audífonos en donde se escucha un corto negativo inducido por las vueltas de molinete, se cuenta cada corto hasta pasar un minuto y esas son el número de vueltas que se produjeron las cuales se utilizarán posteriormente en las ecuaciones. A continuación, se presenta el aforo y sus resultados.

ESTACION
CUERPO AGUA
MOLINETE

C.C.S.PEDRO PORUAS
CANAL
IOVY-2269

DE
GASTO
AREA

16/03/2016
0.287
0.7

VEL MEDIA
TAB LA
AFORO

0.41
1
1

DIST. DEL ORIGEN m.	PROFUNDIDAD m.	METODO	PROF. DE LA OBSERVACION	REVOLUCIONES	TIEMPO EN SEGUNDOS	MEDIA DE LA VERTICAL	ANCHO m.	PROFUNDIDAD MEDIA m.	AREA M2	GASTO m3/s
0	0.3	O	C	M.	I.					
							0.2	0.305	0.06	0.018
0.2	0.31	0.6	0.19	20	44	0.38				
							0.2	0.325	0.07	0.024
0.4	0.34	0.6	0.2	25	44	0.385				
							0.2	0.345	0.07	0.028
0.6	0.35	0.6	0.21	25	43	0.403				
							0.2	0.35	0.07	0.026
0.8	0.35	0.6	0.21	25	48	0.353				
							0.2	0.34	0.07	0.028
1	0.33	0.6	0.2	30	47	0.432				
							0.2	0.32	0.06	0.026
1.2	0.31	0.6	0.19	30	47	0.494				
							0.2	0.305	0.06	0.028
1.4	0.3	0.6	0.18	30	41	0.514				
							0.2	0.295	0.06	0.03
1.6	0.29	0.6	0.17	35	46	0.482				
							0.2	0.295	0.06	0.03
1.8	0.3	0.6	0.18	30	42	0.482				
							0.2	0.29	0.06	0.026
2	0.28	0.6	0.17	25	45	0.376				
							0.2	0.275	0.06	0.023
2.2	0.27	O	C	M	D					

AFORADOR
HORA INI
HORA FIN
DURACION

JOSE RICARDO MARTINEZ AVILA
12:15
12:35
00:20

5.2 Levantamiento topográfico.

El significado de topografía según Norman T. (1920) “el arte de determinar la posición relativa de los distintos detalles de porciones de la superficie terrestre”. Existen distintos aparatos para lograr conocer los detalles de un sitio los cuales con el paso del tiempo se han ido mejorando en cuanto a tecnología y precisión.

Actualmente existen aparatos muy precisos como son un gps de buena marca o una estación total que tiene un rango de error muy pequeño, en la antigüedad los aparatos llegaban a dar rangos de errores muy grandes haciendo de esto algo impreciso, pero ya que era lo único que existía se aceptaba.

En la realización de levantamiento topográfico del sitio de estudio de esta tesis (Canal San Pedro) se utilizó una estación total, así como un prisma que trabaja en conjunto con dicho aparato, tomo más de medio día de trabajo el poder conseguir puntos a lo largo del cuerpo de agua ya que se tomaron de entre cuatro a seis puntos por sección.

5.3 Secciones transversales y determinación de la pendiente del proyecto.

En el presente tema se presentan las secciones del canal antes mencionado (San Pedro) en donde se puede observar como con la ayuda del programa AutoCAD 2014 se pueden unir los puntos del levantamiento topográfico logrando determinar un área de trabajo y observando con precisión la forma que llevan las secciones a lo largo del canal. A continuación, se presenta un único plano anexo donde se muestran las secciones del canal mencionado en capítulos anteriores, este plano

trabaja en conjunto con el plano topográfico del canal el cual muestra los cadenamientos de las secciones para poder vincular y entender mejor de que parte el canal se están hablando.

En la siguiente imagen se puede observar la forma que tiene la entrada o el inicio del canal, así como la elevación la cual después será de gran ayuda para determinar la pendiente, se muestra el cadenamiento y la escala que se maneja.

Cabe mencionar que sólo se muestra esta imagen no porque sea la parte más desfavorable del canal sino para tener un mayor alcance de entendimiento.

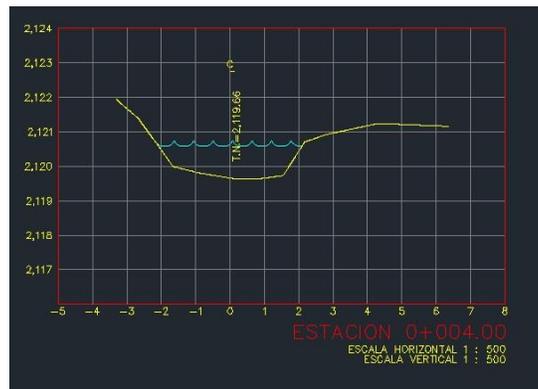


Imagen 5.1 Muestra de la sección de canal

Fuente: Propia. (2016)

La determinación de la pendiente se obtuvo de acuerdo al único plano anexo donde se muestran las elevaciones de cada sección del canal, la cual arroja un resultado de una pendiente de $S_o = .0020$ más. Dado los estudios previos que se mencionan en los capítulos anteriores, así como la teoría donde se habla sobre la pendiente del proyecto, se conservará en su estado original para no afectar el coeficiente de fricción y la velocidad del cuerpo de agua, mencionando que se

deberá quitar la capa vegetal en 20 ó 30 centímetros y emparejando posibles fracturas o elevaciones en la plantilla del canal.

5.4 Análisis del gasto y diseño de la sección del canal del proyecto.

Según el aforo realizado anteriormente el gasto resultante fue de .287 m³/s el cual, según el tirante máximo medido en el sitio, aunque cambiante es aproximadamente de 0.7 metros, por tanto, las secciones del canal permiten el aumento del gasto, aunque bien se necesita una rehabilitación la cual consiste en uniformizar las secciones del canal y afinamiento de taludes, corte y terraplén según sea el caso los cuales se apejarán de acuerdo con la pendiente necesaria.

En el cadenamiento 0+935 hasta el cadenamiento 1+035 se encuentra la sección tipo la cual establece una sección de canal revestida con concreto por tanto no se puede modificar en la siguiente imagen se muestra dicha sección.

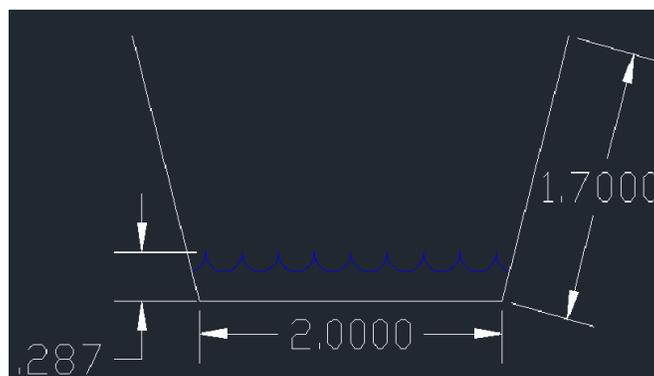


Imagen 5.2 Sección de diseño

Fuente: Propia (2016)

El cálculo de gasto máximo de diseño será otorgado por las máquinas de generación las cuales tienen como capacidad máxima 1.6 m³/s por tanto este será el gasto de diseño para el canal sujeto a la sección de diseño la cual será revisada si cumple con el gasto necesario. Para la revisión de la sección tipo se utiliza el programa Hcanales 3.0 el cual sirve para ingresar los datos de una sección y calcular la base, tirante, pendiente o en su defecto el gasto. Se muestra la siguiente imagen en donde se da a conocer vía visual como es el programa Hcanales V 3.0 y los resultados que arroja.

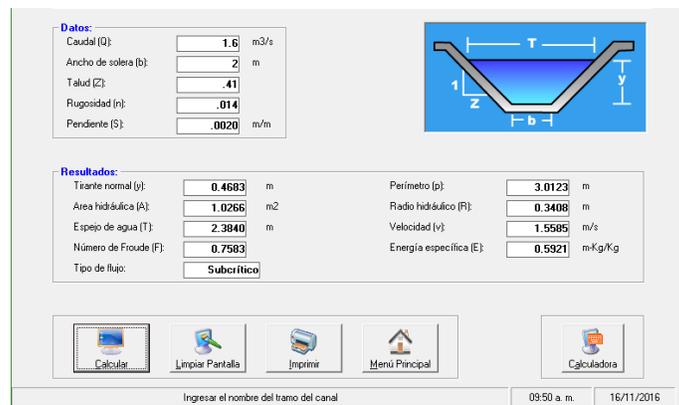


Imagen: 5.3 Revisión de las dimensiones actuales del canal

Fuente: Propia (2016)

Como se puede observar con la pendiente actual cumple con los requisitos, pero en la pendiente representa problemas ya que por el tipo de material que es presenta elevaciones con pendientes negativas por tanto se propondrá una pendiente de diseño ya que la medida de la sección cumple sin problemas.

En la siguiente imagen se muestra la revisión de la sección tipo, suponiendo un revestimiento de concreto.



Imagen: 5.4 Propuesta de sección

Fuente: Propia (2016)

En esta imagen se observan los resultados de la revisión de la sección tipo arrojando un tipo de flujo subcrítico, en donde se muestra que el dimensionamiento propuesto es aceptado de acuerdo con estos resultados y la nueva pendiente de diseño la cual es analizada y calculada en el subtema siguiente.

5.5 Corte, terraplén y revestimiento del canal.

Se analiza las secciones de corte y terraplén con el programa AutoCAD 2014. El cual consiste en volumetrar la cantidad de suelo que se moverá para ajustar el canal a una pendiente de diseño mencionada anteriormente. Se añade una tabla

que muestra el cambio de pendiente y otra donde se muestran los volúmenes antes mencionados.

El revestimiento del canal será de concreto ya que pensando en otras posibles soluciones la mampostería sería un recurso costoso ya que no hay posibles bancos de donde sacar el material, así como la mano de obra se incrementaría, por tanto, el concreto es la opción más viable y segura que evita erosiones, crecimiento de vegetación y otros aspectos antes mencionados en capítulos anteriores de esta tesis.

Se utilizará concreto de dos tipos el primero es para los taludes con un $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ con armex en los taludes el cual funcionará como tierra armada y el segundo será de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ para la plantilla con varilla de 3/8 para evitar posibles fracturas y servirá como refuerzo al concreto.

Las siguientes tablas muestran las pendientes la primera muestra la pendiente actual del canal mientras que la segunda muestra la pendiente del canal de diseño.

Pendiente actual del canal		
Cadenamiento	Cota m.s.n.m	So
0+004	2119.66	0
0+050	2119.52	0.0028
0+100	2119.53	-0.0002
0+150	2119.12	0.0082
0+200	2118.97	0.003
0+250	2118.86	0.0022
0+300	2118.65	0.0042
0+350	2118.81	-0.0032
0+400	2118.7	0.0022
0+450	2118.73	-0.0006
0+500	2118.85	-0.0024
0+550	2118.69	0.0032
0+600	2118.65	0.0008
0+650	2118.62	0.0006
0+700	2118.72	-0.002
0+750	2118.62	0.002
0+782	2118.55	0.0021875
0+800	2118.58	-0.001666667
0+835	2118.55	0.000857143
0+850	2118.37	0.012
0+885	2118.06	0.00857143
0+935	2118.17	-0.0022
0+985	2118.17	0
1+035	2118.14	0.0006
1+085	2117.82	0.0064
1+135	2117.77	0.001
1+232	2117.48	0.0029
1+238.4	2117.45	0.0046875

So media 0.002015094

Pendiente Diseño		
Corte y Terraplén	Cota m.s.n.m	So
0.2	2119.46	0
0.142	2119.378	0.00164
0.22	2119.31	0.00136
0.106	2119.226	0.00168
0.176	2119.146	0.0016
0.198	2119.058	0.00176
0.34	2118.99	0.00136
0.102	2118.912	0.00156
0.134	2118.834	0.00156
0.026	2118.704	0.0026
0.172	2118.678	0.00052
0.09	2118.6	0.00156
0.128	2118.522	0.00156
0.176	2118.444	0.00156
0.354	2118.366	0.00156
0.332	2118.288	0.00156
0.34	2118.21	0.0024375
0.448	2118.132	0.004333333
0.496	2118.054	0.002228571
0.394	2117.976	0.0052
0.162	2117.898	0.002228571
0.35	2117.82	0.00156
0.428	2117.742	0.0024375
0.476	2117.664	0.00156
0.22	2117.6	0.00128
0.264	2117.506	0.00188
0.052	2117.428	0.00078
0.1	2117.35	0.0121875

So

0.0029832

Tabla 5.1 Comparativa de pendiente actual de canal y pendiente de diseño.

Fuente: Propia (2016)

El volumen excavado será retirado del sitio con camiones de 6m³ los cuales tienen fácil acceso hasta el sitio del canal. El volumen que se indica será retirado con maquinaria (Bobcat).

Corte y Terraplén de las secciones del canal.				
Cadenamiento	Corte m2	Corte m3	Terraplén m2	Terraplén m3
0+004 - 0+050	0.5181	23.8326		
0+050 - 0+100	0.8481	42.405		
0+100 - 0+150	1.4731	73.655		
0+150 - 0+200	0.83	41.5	0.0518	2.59
0+200 - 0+250	0.765	38.25	0.07	3.5
0+250 - 0+300	0.7524	37.62	0.0751	3.755
0+300 - 0+350	0.9841	49.205	0.103	5.15
0+350 - 0+400	0.7548	37.74	0.033	1.65
0+400 - 0+450	0.5665	28.325	5.3	265
0+450 - 0+500	0.762	38.1		0
0+500 - 0+550	0.8013	40.065		0
0+550 - 0+600	0.9067	45.335		0
0+600 - 0+650	1.0672	53.36		0
0+650 - 0+700	1.0085	50.425		0
0+700 - 0+750	155.69	7784.5		0
0+750 - 0+782	122.47	6123.5		0
0+782 - 0+800				0
0+800 - 0+835				0
0+835 - 0+850	1.5062	52.717		0
0+850 - 0+885	1.3853	20.7795		0
0+885 - 0+935	1.5185	53.1475		0
0+935 - 0+985	1.3214	66.07		0
0+985 - 1+035	1.6331	81.655		0
1+035 - 1+085				0
1+085 - 1+135				0
1+135 - 1+232	1.7746	88.73		0
1+232 - 1+238.4	2.3263	227.9774		0
1+238.4	1.2874			0

Tabla 5.2 Volumetría de corte y terraplén en las secciones del canal.

Fuente: Propia (2016)

El volumen de corte se utilizará para el terraplén de la sección, dado que hay más cortes que rellenos a lo largo de esta el material es suficiente de acuerdo con la pendiente de diseño previamente calculada y mostrada en este trabajo. El sobrante se llevará a la barranca próxima.

Se revestirá con material tipo: concreto hidráulico con una resistencia de resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ en la plantilla y en sus taludes, reforzado con malla electro soldada, anclada a los taludes.

CONCLUSIONES.

Posteriormente de haber realizado el presente trabajo titulado "PROPUESTA DE PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN Y REVESTIMIENTO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN DE LA C.H SAN PEDRO PORÚAS EN EL KM 0+004 AL KM 1+238.4." se concluye que es posible presentar una propuesta de proyecto que dé solución a la problemática del canal y de la cual consiste en limpieza, trazo y nivelación del canal con ciertas limitaciones que se presentan en el sitio como son caídos (árboles que obstruyen el flujo del agua).

Para la rehabilitación del canal se propone una sección tipo la cual depende de una actual en el sitio cuyas medidas son de $b = 2.0$ mts, $z = .41$ mts, $m = 1.5$ mts,

Estas serán su relación de aspecto de acuerdo con la sección tipo que se estableció en el sitio y está revestida de concreto. Siendo la sección propuesta la única sección que se correrá por todo el canal uniformizándola y gobernada por una pendiente de diseño la cual es $S_o = .0029$ mts.

El recubrimiento para el canal es como dominante el concreto dada sus propiedades que son favorables para el sitio de acuerdo con esta investigación, dada que la mampostería es un tanto difícil de proponer ya que el material necesario tanto como el acarreo de la piedra y su elaboración, así como el aumento de mano de obra.

Al inicio del proyecto se estableció un objetivo principal el cual consta de proponer un proyecto de rehabilitación, así como un material de revestimiento adecuado y el redimensionamiento del canal. Se establece que el objetivo ha sido alcanzado o bien aceptable y logrado ya que, tras días de investigación, visitas al sitio, cálculos, etc. Se logra hacer una propuesta que cumple con el objetivo principal de este trabajo.

Para conseguir la realización del proyecto fue necesario conocer las condiciones actuales del sitio de proyecto las cuales se encuentran en la comunidad de San Pedro Porúas siendo el lugar un sitio alejado del poblado de Villa Madero no cuenta con ganado, pesca u otras actividades solamente con el canal de generación hidroeléctrica perteneciente a C.F.E.

Una vez realizado el estudio del sitio y conocer las condiciones actuales físicas y visuales del canal de conducción de la C.H San Pedro Porúas se logra establecer un plano que muestra la topografía de las secciones a lo largo del cuerpo de agua el cual es de vital importancia para la realización del proyecto. Así como el aforo del canal el cual consiste en conocer el gasto que pasa por el cuerpo de agua.

Cumpliendo con la investigación de revestimiento de canales se determina que el más favorable de acuerdo a las condiciones es el concreto como ya se ha justificado antes.

Indicando los objetivos particulares que se presentan al inicio de este trabajo los cuales han sido cumplidos dentro del capítulo uno, como el primero el cual establece que se debe conocer el concepto de canal, los tipos de secciones y flujo, así como el cálculo del gasto y el rediseño del canal. Para lograr cumplir con este primer objetivo se realizó una investigación sobre el concepto de canales el cual se abarca al inicio del presente trabajo al igual que los tipos de secciones y los tipos de flujo.

El cálculo del gasto se determinó de acuerdo a la potencia de generación de las turbinas que se encuentran aguas abajo del canal ya que tomando en consideración que si el gasto fuera mayor que al que se puede generar no servirá de nada o sería como un excedente el cual podría causar problemas y se elevaría el costo del proyecto aumentando las secciones para un mayor gasto. El gasto de producción de las máquinas es de 1.6 m³/s el cual se toma como gasto de diseño.

Para el rediseño del canal de conducción se necesitó la topografía del plano, el gasto y las condiciones físicas del sitio. Después de realizar una visita al lugar se observó que existen objetos que obstruyen el cuerpo de agua como son; ramas, piedras, vegetación, etc. Se encontró que existe una sección tipo con revestimiento de concreto la cual cumple con las condiciones de diseño del canal, se revisó con el programa Hcanales 3.0 el cual sirve para diseñar, revisar secciones de un canal la sección cumple con el gasto actual y de diseño como se muestra en las imágenes del capítulo cinco.

Otros objetivos particulares que se presenta dentro del capítulo dos de este trabajo son: el concepto de revestimiento, los tipos de revestimiento y la propuesta del material adecuado para el proyecto. Estos objetivos se logran ampliamente mencionados en el capítulo dos abarcando el concepto de revestimiento de canales y los tipos de revestimiento extendiéndose en varios tipos de revestimiento para poder generar una idea y la determinación del material que se adecua más a las propiedades del canal.

El material elegido es el concreto de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ ya que también se consideró la posibilidad de hacer recubrimiento de mampostería o con vegetación, pero dada la zona que se encuentra la vegetación es de tipo invasiva la cual obstruye el correcto funcionamiento del canal por tanto se descarta esa idea, la mampostería por su parte no se encuentran bancos de material cercanos y tampoco hay tanta cantidad de roca en el sitio así como el acarreo del material se dificulta por tanto se opta por elegir el material de concreto dada su factibilidad de elaboración del sitio como el acarreo dentro del canal.

Por otro lado, se señala la pregunta de investigación ¿Es posible realizar una propuesta de rehabilitación y revestimiento para este canal de acuerdo con las condiciones actuales?

Logrando aclarar la pregunta de investigación se genera una respuesta positiva la cual se fundamenta en la investigación de este trabajo logrando así una propuesta para la rehabilitación y el revestimiento para el canal de acuerdo con sus condiciones actuales y mejorando considerablemente la eficiencia del comportamiento del flujo del canal.

Además de lograr los objetivos de este trabajo durante la investigación de encontraron hallazgos teóricos relevantes; por ejemplo, la mampostería debe ser acomodada de una manera adecuada ya que pueden generar planos de fallas importantes que puedan afectar su comportamiento estructural llevándolo a la falla. Así como el conocimiento de los diferentes tipos de secciones y sus diferentes comportamientos en cuanto al flujo de acuerdo con las condiciones del lugar, el gasto y otros factores antes mencionados. Por otra parte, la colocación adecuada del material de revestimiento es de vital importancia ya que de este dependerá su correcto funcionamiento y evitará futuros rediseños de las secciones, así como la erosión del mismo y los mantenimientos preventivos.

BIBLIOGRAFIA.

Comisión Federal de Electricidad (1980)

MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES escurrimiento

C.F.E.

Comisión Federal de Electricidad (1980)

MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES escurrimiento a superficie libre

C.F.E.

Martinez Cañadas, Miguel Ángel (1993)

HIDRAULICA APLICADA A PROYECTOS DE RIEGO

Ed II UDM. México

Segura, Mario. (1993)

Trazo y revestimiento de canales

ITDG. Lima, Perú

Ven Te, Chow (1986)

Hidráulica de los canales abiertos

Ed. Diana. México

Vicente Méndez Manuel (2001)

Elementos de Hidráulica de Canales

Ed. UCAB. Caracas, Venezuela

Tamayo y Tamayo (2003)

El proceso de la investigación científica

Ed. Limusa. México

Morris R. Cohen, Ernest Nagel (1993)

Introducción a la lógica y al método científico

Ed. Amorrortu Editores. Buenos Aires

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

Andex (2016)

Revestimiento de canales

<http://www.andex.com.pe>

Flujo en canales abiertos (2008)

<http://mecanicafluidos7mo.blogspot.mx/2008/04/flujo-en-canales-abiertos.html>

Método de molinete hidrométrico (2016)

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/metodo-del-molinete-hidrometrico.html>

PSI (2016)

Revestimiento de canales

<http://www.videoneed.com>

Obras Hidráulicas (2016)

<http://www.skyscrapercity.com>

ANEXOS

