

TRABAJO REFERATIVO

En opción al título de ingeniero hidráulico

Propuestas para la rehabilitación de las obras de fábrica Calambrosio y Guasimilla del Canal Yara.

Autora: Yaima Fernández Casí

Tutores: Msc. Paula Sánchez

Ing. Huberth Socarrás

Santiago de Cuba

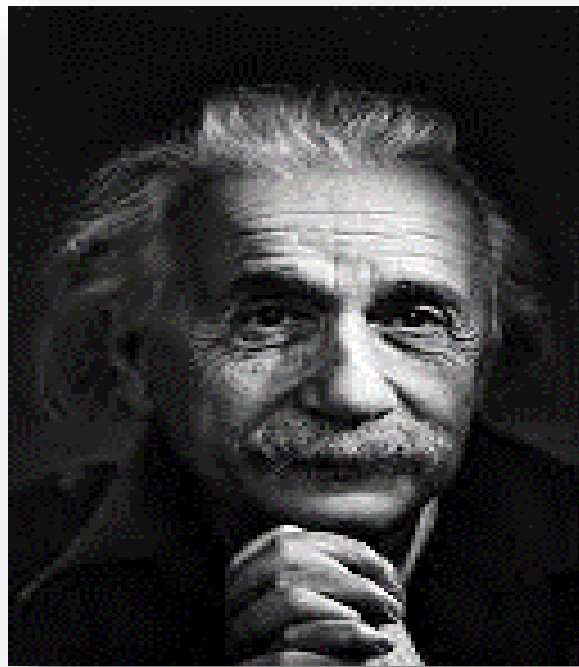
Julio, 2020

Año 62 del triunfo de la Revolución



Pensamiento

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”



Albert Einstein

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios Todopoderoso por darme fuerza y voluntad para seguir adelante en cada momento de flaqueo.

A mi mamá, mi hermana, mi novio y mi abuela por apoyarme en cada momento de mi vida, todo lo que soy se lo debo a ustedes y este logro también es suyo.

A mi tutora Paula, por su apoyo incondicional.

Al claustro de profesores de la Carrera Ingeniería Hidráulica por su tiempo, dedicación y desempeño en mi formación profesional.

A mis compañeros de aula con quienes he compartido momentos inolvidables durante mi estancia en la universidad y que también han colaborado en mi formación académica y profesional.

Dedicatoria

En primer lugar, a DIOS por haberme guiado y protegido, darme fuerzas y voluntad para seguir adelante ante las adversidades, la confianza y determinación para seguir adelante y cumplir el primero de mis propósitos en la vida.

A mi queridísima madre y a mi hermana que han sido siempre la fuente de mi inspiración para seguir adelante.

A mi novio por su apoyo incondicional.

A mis compañeros.

Resumen

Las obras de fábrica en los canales de riego tienen una importancia reconocida en la práctica internacionalmente, su uso permite el adecuado funcionamiento y explotación de los sistemas de riego. El mantenimiento de estos objetos de obra propicia el funcionamiento estable y adecuado del sistema, pero cuando no se realiza puede conllevar al deterioro parcial o total del sistema, el estudio referativo efectuado mostró que las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" del Canal Yara se encuentran en un estado de deterioro severo, que impide aumentar las áreas bajo riego de la "Empresa Agroindustrial Yara". La rehabilitación de estas permitirá aumentar las áreas beneficiadas con el riego, la productividad y el cumplimiento de los planes de entrega de arroz para la población, problemática que reviste una connotación especial en los momentos actuales que el país precisa de la sustitución de importaciones y aumento de la producción de alimentos para el consumo nacional.

Abstract

Factory works in irrigation canals are internationally recognized in practice, their use allows the proper operation and operation of irrigation systems. The maintenance of these objects of work favors the stable and adequate operation of the system, but when it cannot be carried out it may affect the partial or total of the system, the reference study carried out showed that the factory works "Calambrosio" and "Guasimilla" of Canal Yara it is in a state of severe danger, which prevents the irrigated areas of the "Empresa Agroindustrial Yara" from increasing. The rehabilitation of these improvements increases the areas benefited by irrigation, productivity and compliance with the delivery plans of rice for the population, a problem that has a special connection at the current times that the country needs import substitution and increased of food production for national consumption.

INDICE

No	Contenidos	Pág.
	INTRODUCCION	1
	DESARROLLO	7
1	Revisión bibliográfica	7
1.1	Breve introducción al uso del agua para riego	7
1.2	Canales. Generalidades	9
1.2.1	Canales Hidráulicos	9
1.2.2	Clasificación de los canales	9
1.2.3	Canales destinados a riego	10
1.2.4	Obras de fábrica. Clasificación. Características	10
1.3	Mantenimiento y rehabilitación de canales	19
1.3.1	Mantenimiento en canales abiertos sin revestir	20
1.3.2	Evaluación de obras para el mantenimiento	22
1.3.3	Breve historia del mantenimiento a obras hidráulicas en Cuba	26
2	Materiales	27
2.1	Principales características de las obras	28
2.2	Estado técnico actual de las obras	29
2.3	Fuente de abasto	29
2.4	Topografía	30
2.5	Condiciones ingeniero geológicas	30
2.6	Características de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla"	31
3	Propuesta de rehabilitación	33
	Conclusiones	34
	Recomendaciones	34
	Bibliografía	36

Listado de figuras

No	Nombre de la figura	Pág.
1	Esquema de captaciones o toma de agua en canales	11
2	Esquema de compuerta y vertedero	11
3	Esquema de un sifón invertido	13
4	Esquema de un puente y sifón	13
5	Esquema de una rampa con dissipador y escalones	14
6	Esquema de una toma de orificio a carga constante	14
7	Esquema de obra para división de gastos típica	15
8	Esquema de una obra para derivar gastos	15
9	Esquema de una obra para cruce de camino	15
10	Obras más frecuentes a mantener y rehabilitar en canales de riego	28
11	Esquema de ubicación del Canal Yara	29
12	Vista aérea parcial del canal Yara	30
13	Vista en planta de la obra de fábrica según proyecto.	31

Listado de tablas

No	Nombre de la tabla	Pág.
2.1	Granulometría de los materiales de la cimentación	30
2.2	Límites de Attemberg de los materiales de la cimentación	30
2.3	Propiedades físico mecánicas del suelo en estado natural	31
2.4	Parámetros de compactación del suelo	31

INTRODUCCIÓN

El agua potable es imprescindible para todas las formas de vida, incluida la humana de ahí que su acceso se ha incrementado sustancialmente durante las últimas décadas en la totalidad de la superficie terrestre. Sin embargo, estudios de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030. (Tamayo, 2011).

Actualmente en el mundo se riegan unos 100 millones de hectáreas de cultivos, que representan el 15 % de las tierras cultivadas, produciendo el 40 % de los alimentos, pues el riego aumenta en tres veces la productividad con respecto a las de secano. (FAO, 2013)

En Cuba sin riego no es posible obtener rendimientos agrícolas óptimos al menos durante seis meses en el año, y aunque más del 50% del agua aprovechable para la agricultura se dedica a esta actividad según un informe elaborado por la Dirección de Ingeniería Agropecuaria (MINAG, 2010), aun así, resulta insuficiente, en relación con las áreas potencialmente cultivables.

En nuestro país los planes de desarrollo hidráulico comenzaron desde los primeros años del período revolucionario. La capacidad de agua embalsada pasó de 29 millones de m³ en 1958 a 4 400 millones de m³ en 1975, o sea, 1 517 veces, y actualmente llega a 8 767 millones de m³ (Revista Voluntad Hidráulica, 2005).

La infraestructura en instalaciones y obras hidráulicas con que cuenta el país para el suministro de agua para todos los usos, permite disponer de un volumen potencial anual de más de 13 600 millones de metros cúbicos, correspondiendo un 67% de este volumen a las aguas superficiales y un 33% a las aguas subterráneas. Esto determina para Cuba un indicador de volumen de agua disponible por habitante por año de 1 240 m³. Es responsabilidad del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), la operación y mantenimiento de una parte importante de esta infraestructura, constituida por las presas y derivadoras, los canales magistrales y algunas estaciones de bombeo, así como las obras de

protección contra inundaciones de alcance regional. (Emisora Cubana de Noticias, Radio Reloj/2020 Voluntad Hidráulica)

De este volumen cada año se planifica utilizar más de 10 000 millones de metros cúbicos distribuidos en alrededor del 70% para riego, lo que muestra que la agricultura es el mayor y más importante consumidor de agua, 20% para el abasto a la población y el 10% restante para otros abastos. (Dórticos. Revista Voluntad Hidráulica, Octubre-Diciembre 2018).

El área bajo riego pasó de unas 160 000 ha a inicios de la Revolución, a 580 000 ha en 1975. En el quinquenio 1976-1980 se construyeron 141 km de canales magistrales y sistemas de riego para casi 300 000 ha. Otras 100 000 ha se incorporaron al riego en el quinquenio siguiente, y llegando en 1980 a 889 746 ha. Actualmente el potencial de tierras regables de acuerdo con la disponibilidad de agua y las clases de suelos es de 2.5 millones de ha, o sea el 34 % del área agrícola total.

Cada año en Cuba se planifican la utilización de alrededor de 7 000 hm³, lo que equivale aproximadamente al 18% del total de recursos hídricos potenciales existentes en el país y a más del 50% de los recursos disponibles para la explotación. Según fuentes oficiales del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, en el año 2018, la utilización del agua concentraba el 45% para el cultivo del arroz nacional, la caña de azúcar el 18%, el cultivo de cítricos y frutales el 3%, viandas y hortalizas el 10%, para pastos y forrajes el 2%, y el restante 22% en otros consumos. (Revista Voluntad Hidráulica, Octubre-Diciembre 2018).

En la actualidad se realizan grandes inversiones en nuestro país para la construcción de nuevos embalses, así como canales y otras obras para trasvases desde zonas con abundancia de agua hasta otras áreas más secas. También se reparan muchas de las obras ya existentes. Según declaraciones del Jefe de Riego y Drenaje del Ministerio de Agricultura en Cuba (MINAG) Rodovaldo López, en una entrevista concedida a los medios de prensa cubanos el 15 de Julio del 2017; Cuba proyecta sumar a la superficie actual bajo riego en su agricultura unas 50 mil hectáreas hasta el 2020 (Torres, 2019)

Yaima Fernández Casi

No obstante, la baja eficiencia de los sistemas de riego constituye uno de los problemas más agudos que afectan a las áreas bajo riego en Cuba (Alemán et al, 2003), por tal razón, toda metodología o recomendación que tienda a la optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos y a la preservación del medio ambiente, adquiere un valor considerable para las zonas bajo regadío. No basta con seguir instalando nuevos sistemas de riego cada año, sin alcanzar un nivel mínimo de eficiencia en el área bajo riego actual. Stincer et al (1996) plantea que el desarrollo del riego en Cuba, sin dudas, ha repercutido en el incremento de la producción agrícola, no obstante, queda mucho por hacer por parte de las instituciones estatales y entidades productivas para atender satisfactoriamente a la utilización eficiente de las aguas para riego.

Entre las consecuencias prácticas de interés se halla el hecho de que las infraestructuras de transporte del agua para el riego incrementan la capacidad para satisfacer la demanda punta de la zona regable, no obstante, los canales magistrales existentes para abastecer las áreas bajo riego, no reciben el mantenimiento adecuado por lo que en muchas ocasiones su inadecuado funcionamiento incide negativamente en la eficiencia de los sistemas de riego.

La "Empresa Agroindustrial Yara" es un ejemplo de estas dificultades, ella debe recibir una entrega de $8,0 \text{ m}^3 / \text{s}$ a través del Canal Yara para beneficiar la producción de arroz, pero debido al deterioro paulatino del canal y sus obras de fábrica se ven afectadas las entregas, disminuyen las áreas beneficiadas con el riego, la productividad y el cumplimiento de los planes de entrega de arroz para la población. Esta problemática reviste una connotación especial en los momentos actuales que el país precisa de la sustitución de importaciones y aumento de la producción de alimentos.

La disminución de la eficiencia en la entrega a los usuarios provocado por el deterioro técnico del Canal Yara conlleva a que disminuyan los rendimientos del cultivo de arroz en la "Empresa Agroindustrial Yara".

En este sentido, el **Problema de Investigación** estaría encaminado a: ¿Cómo reestablecer los indicadores de proyecto de las obras de fábrica del Canal Yara y que contribuyan a beneficiar la producción de arroz, para las condiciones

Yaima Fernández Casi

específicas de la Empresa Agroindustrial Yara? Para abordar la solución de este problema, el **Objeto de la Investigación** se enfoca en los contenidos relacionados con el mantenimiento de canales de riego y de manera específica en el **Campo de acción de la Investigación** que se refiere al procedimiento de rehabilitación de las obras de fábrica en canales.

Objetivo general: Reevaluar y/o rediseñar las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" del Canal Yara.

Objetivos específicos:

1. Describir el estado actual del arte referido a los canales de riego y su mantenimiento y/o rehabilitación.
2. Caracterizar las obras de fábrica
3. Diseñar la propuesta de rehabilitación de las mismas.

Hipótesis de Investigación: con la evaluación técnica de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" del canal Yara se logrará elevar la eficiencia de la producción de arroz en esta zona.

Tareas de investigación:

- Consulta de las fuentes bibliográficas relacionadas con el tema de investigación.
- Búsqueda de información técnica del proyecto de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" del Canal Yara.
- Caracterización del estado actual de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" del Canal Yara.
- Diseño hidráulico de rehabilitación de las mismas

Métodos de investigación utilizados:

Del nivel teórico

- **Histórico-lógico:** para las pesquisas de las investigaciones y estudios desarrollados históricamente con respecto al tema, objeto y campo.

- **Análisis y síntesis:** para todo el proceso investigativo, tanto en sus fundamentos teóricos como en las argumentaciones de las propuestas, así como la interpretación de los resultados y la elaboración de las conclusiones.
- **Hipotético-deductivo:** a partir de realizar la investigación de las deficiencias en las obras de fábrica, la necesidad de rehabilitación de sus diferentes elementos estructurales por diferentes vías, interpretar los resultados en función de la variante que ofrezca mayor garantía y confiabilidad.

Del nivel empírico

- **Observación:** Permite conocer la realidad mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos en sus condiciones naturales, a partir del objetivo previamente establecido y utilizando métodos científicos, nos permitió escoger el diseño más favorable, teniendo en cuenta las condiciones actuales de las obras de fábrica q partir de una visita prevista a dichas obras.

Aporte: El diseño hidráulico de la rehabilitación de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla" permitirá agilizar el proceso de puesta en marcha de la ampliación de áreas bajo riego para el cultivo de arroz con destino al consumo nacional en el municipio Yara.

Actualidad: La dirección del país ha solicitado a cada entidad el análisis de la sustitución de importaciones y el mayor aporte a la alimentación de la población en el contexto actual, por lo que la Empresa Agroindustrial Yara tiene como reto aumentar la producción de arroz para el destino nacional, esto será posible mediante el beneficio de nuevas áreas bajo riego que actualmente no les llega el agua por deficiencias en el sistema de conducción y sus obras de fábrica.

Estructura del trabajo de diploma

El presente trabajo de diploma se ajusta a la modalidad de informe referativo, está dividido en las siguientes partes: introducción, desarrollo, conclusiones, recomendaciones y bibliografía; en las cuales se reflejan las informaciones

Yaima Fernández Casi

detalladas de cada elemento relacionado con el tema tratado, la primera está conformada por una presentación de la tesis en la cual aparecen, un breve resumen del trabajo en español e inglés y la tabla de contenidos, una introducción que aborda la argumentación y el diseño de la investigación. En la segunda contiene la revisión bibliográfica con temas tales como el uso del agua, generalidades sobre canales, canales de riego, las obras de fábrica en canales de riego y el mantenimiento y rehabilitación de canales. A continuación, se muestran los materiales utilizados para la investigación de las obras de fábrica como los estudios técnicos, se caracterizará el caso de estudio con la localización, los datos básicos y métodos utilizados en los procedimientos para la rehabilitación de dichas obras de fábrica. Se finaliza con la propuesta de rehabilitación y se verá reflejado el análisis autoral de los resultados de la investigación.

DESARROLLO

1 Revisión bibliográfica

1.1 Breve introducción al uso del agua para riego.

El empleo del agua y su gestión en todo el mundo, han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es fundamental para aprovechar el potencial de la tierra y permitir que las variedades tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás componentes de la producción que elevan los rendimientos.

Desde tiempos remotos el hombre comprendió que el agua era indispensable para el desarrollo de las plantas y que cuando éstas carecían de suficiente humedad en el suelo se podía facilitar su desarrollo adicionándosela a intervalos regulares. Los primeros canales y sistemas de riego conocidos se construyeron en Egipto hace unos 7 000 años para aprovechar las aguas del Nilo.

También en Mesopotamia los sumerios usaron el regadío hace 4 400 años, y los chinos poco después. El imperio Inca construyó complejos sistemas de riego, lo cual también practicaron los Olmecas y otras culturas avanzadas del continente americano.

En este punto de la historia, el desarrollo agrícola radicaba en una serie de técnicas para manejar el agua de riego a través de los sistemas de distribución y en la construcción de terrazas de cultivo. Se desarrollaban tecnologías enfocadas a mitigar los efectos de la erosión, aminorar las inundaciones, retener humedad, y permitir captaciones, traslados y almacenamientos.

Por otro lado, en la cultura azteca destacó el conocido como cultivo por chinampas, que consistía en una construcción de campos elevados dentro de una red de canales dragados sobre el lecho del lago. Así se reciclaban los nutrientes arrastrados por las lluvias. Los mayas, que estaban asentados en la selva tropical, establecieron diferentes técnicas adecuadas para cada tipo de terreno: campos elevados en zonas inundables y terrenos con desnivel en zonas de excesiva

humedad. Construían terrazas de cultivo sostenidas por muros, así podían modificar la pendiente del terreno, contribuyendo a preservar la humedad y a mejorar la fertilidad del suelo.

Además de las presas y los canales, también se diseñaron hace milenios muchos dispositivos para facilitar la extracción del agua como la rueda persa, el *shadoof* egipcio, el torno y las poleas o roldanas para elevar la soga que sostiene los cubos en los pozos.

En Cuba las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos, por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas. Este período coincide con los ciclos completos de muchos cultivos como son la papa, el tabaco y las hortalizas y con el inicio y finalización de otros.

La superficie regable de Cuba, considerando los factores del clima, suelo y los recursos hídricos disponibles, incluyendo las necesidades de los cultivos y las eficiencias de las diferentes técnicas de riego utilizadas, se estima en 2 765 213 ha. Un incremento en la superficie regable de Cuba sería sólo posible con un aumento en la eficiencia en los sistemas existentes (AQUASTA, 2015).

A pesar de las características climáticas de Cuba, hasta 1958 sólo se habían construido trece obras hidráulicas (incluidas pequeñas presas y micro-presas) para un total de 480 millones de m³ de agua embalsada, destinadas fundamentalmente al abastecimiento de la población y al riego de la caña de azúcar. El desarrollo acelerado del regadío en Cuba comenzó a partir de 1959. Debido al desarrollo de las infraestructuras hidráulicas, se pasó de 162 000 ha bajo riego en 1958 a 995 900 ha en 1991. Se realizó un especial esfuerzo en el período 1986-1991, en el cual se construyeron 106 micro-presas, 277 km de canales magistrales, 19 900 pozos y se beneficiaron 158 356 ha con drenaje parcelario o de red general, fundamentalmente en el cultivo de la caña de azúcar. Aunque la técnica de riego superficial siguió predominando, para 1991 la aspersión había crecido desde un 5 % en 1964 a 57 % en 1991 y el riego localizado desde 0 hasta 1.7 % (AQUASTA, 2015).

La crisis económica de los años 1990 en Cuba, motivada por la caída del bloque socialista de los países del este de Europa, con el cual Cuba mantenía el 85 % de su mercado exterior, en un contexto de bloqueo económico prolongado por parte del Gobierno de Estados Unidos de América, ha tenido serias consecuencias sobre el desarrollo hidráulico cubano. Por una parte, se detuvo el proceso inversionista en las obras hidráulicas, incluyendo los sistemas de riego y drenaje, y por otra los recursos financieros existentes no fueron suficientes para costear el mantenimiento de los sistemas ya construidos. Por las razones anteriores, de 1991 a 2010 perdieron valor de uso para regadío unas 481 200 ha, disminuyendo el área bajo riego a 514 700 ha. A partir del 2010 se comenzó la recuperación de las áreas bajo riego incrementándose alrededor del 8%, para alcanzar en el 2012, 557 577 ha bajo riego. En la campaña de riego del 2012, se regó el 88.2 % del área total con regadío (AQUASTA, 2015).

1.2 Canales. Generalidades

1.2.1 Canales Hidráulicos:

Son conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, dado que la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. (Rodríguez, 2011).

1.2.2 Clasificación de los canales

Canales naturales:

Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes y estuarios de mareas. (Ven Te Chow, León, 1994). Además de las corrientes subterráneas en cavernas, según León, 2006

Canales artificiales:

Son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de vegetación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canales de

madera, etc. Así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales. (Ven Te Chow, 1994). El conocimiento y estudio sistemático de los canales se remonta al siglo XVIII, con Chézy, Bazin y otros. (Ven Te Chow, 1982.)

Se distinguen distintos tipos de clasificación de los canales ya sea por su uso, tipo de sección transversal, por su capacidad, etc.

1.2.3 Canales destinados al riego

Uno de los usos más importante de los canales es para el riego, ya que permiten conducir las aguas desde la fuente hasta las áreas de regadío. Para el correcto funcionamiento de estos canales se utilizan diferentes obras que permiten controlar, regular, derivar, dividir, unir y medir los caudales que circulan. Sin estas obras no hay control posible del agua en movimiento y si no hay control es imposible un uso eficiente del preciado líquido (FAO, 2011)

1.2.4 Obras de fábrica. Clasificación. Características

Son obras especiales, utilizadas para la medición, regulación, derivación de gastos en canales de riego.

Las estructuras que generalmente se construyen en los canales son las siguientes:

- Captaciones, o estructuras de entrada,
- Compuertas y vertederos, para derivaciones, medición de caudales y control de niveles,
- Transiciones, para empalmar tramos de diferente sección transversal,
- Sifones y acueductos, o puentes, para atravesar corrientes naturales y cruzar por depresiones del terreno.
- Túneles, para atravesar obstáculos naturales.
- Rampas, escalones y disipadores de energía, para controlar las velocidades en canales de alta pendiente.
- Descargas, o estructuras de entrega.

Captaciones

Las captaciones son las obras que permiten derivar el agua desde la fuente que alimenta el sistema. Esta fuente puede ser una corriente natural, un embalse o un depósito de agua subterránea.

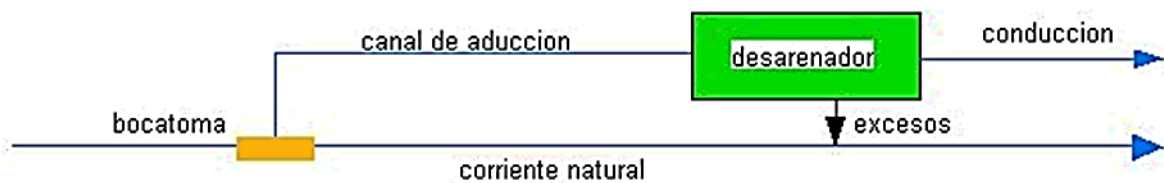


Figura 1 Esquema de captaciones o tomas de agua en canales. Silva, 2017.

Compuertas y Vertederos

Son estructuras de control hidráulico. Su función es la de presentar un obstáculo al libre flujo del agua, con el consiguiente represamiento aguas arriba de la estructura, y el aumento de la velocidad aguas abajo.

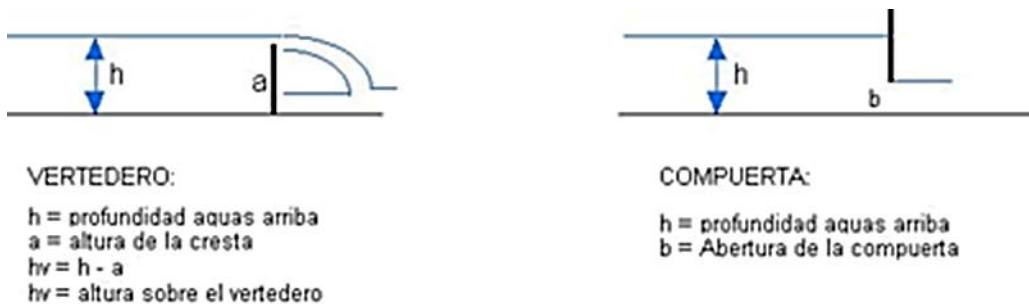


Figura 2 Esquema de compuerta y vertedero. Silva, 2017

Compuerta para regular niveles

Las compuertas son las obras usadas de manera general para regular niveles en canales, también conocidas por diferentes autores como obras de regulación.

Obras de Regulación-Hidrométricas: Tienen la doble función de regular y medir simultáneamente con lo cual la operación resulta más fácil de realizar. Se utilizan generalmente vertederos para estas funciones.

Existen diferentes tipos de vertederos que se clasifican de acuerdo con el espesor de la cresta y con la forma de la sección de flujo. En el primer caso se habla de vertederos de pared delgada, vertederos de pared gruesa y vertederos con cresta en perfil de cimacio. En el segundo se clasifican como vertederos rectangulares, trapezoidales, triangulares, circulares, parabólicos, proporcionales, etc. Un caso particular es el vertedero lateral, el cual se instala en una de las paredes de un canal para derivar hacia otro canal o para descargar excesos de agua.

Las compuertas a su vez se clasifican como deslizantes y radiales.

Transiciones

Las transiciones son estructuras que empalman tramos de canales que tienen secciones transversales diferentes en forma o en dimensión. Por ejemplo, un tramo de sección rectangular con uno de sección trapezoidal, o un tramo de sección rectangular de ancho b_1 con otro rectangular de ancho b_2 , etc.

Las transiciones funcionan mejor cuando los tramos que se van a empalmar son de baja pendiente, con régimen subcrítico; en este caso las pérdidas hidráulicas por cambio de sección son relativamente pequeñas.

Sifones y Acueductos

Cuando en la trayectoria de un canal se presenta una depresión en el terreno natural se hace necesario superar esa depresión con un sifón o con un puente que se denomina acueducto.

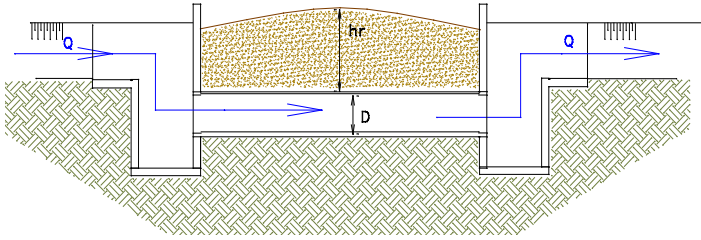


Figura 3 Esquema de un sifón invertido. Ven Te Chow, 1982

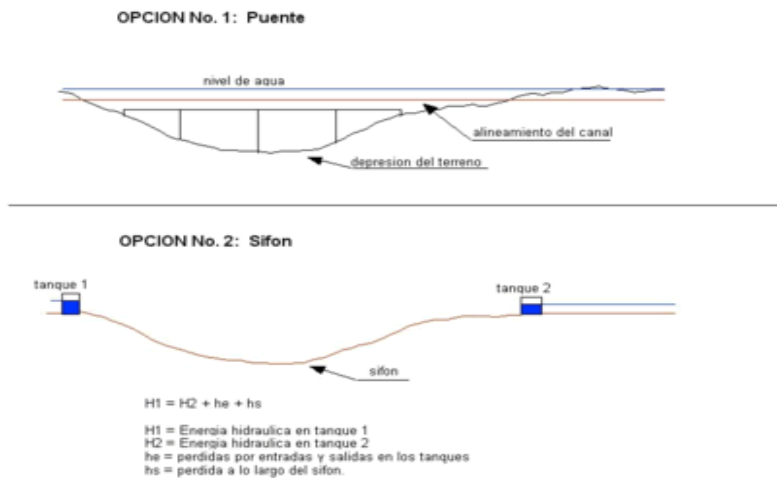


Figura 4 Esquema de un puente y sifón. Silva, 2017

Túneles

Cuando en el trazado de un canal se encuentra una protuberancia en el terreno, por ejemplo, una colina, se presenta la posibilidad de dar un rodeo para evitarla, o atravesarla con un túnel.

Un túnel que se emplea como canal funciona como un conducto cerrado, parcialmente lleno. La sección del canal puede ser revestida o excavada y puede conservar la forma geométrica del canal original, o adaptarse a la sección transversal del túnel.

Rampas, Escalones y Disipadores de energía

Los canales que se diseñan en tramos de pendiente fuerte resultan con velocidades de flujo muy altas que superan muchas veces las máximas admisibles para los materiales que se utilizan frecuentemente en su construcción. Para controlar las velocidades en tramos de alta pendiente se pueden utilizar combinaciones de rampas y escalones, siguiendo las variaciones del terreno.

Las rampas son canales cortos de pendiente fuerte, con velocidades altas y régimen supercrítico; los escalones se forman cuando se colocan caídas al final de tramos de baja pendiente, en régimen subcrítico.

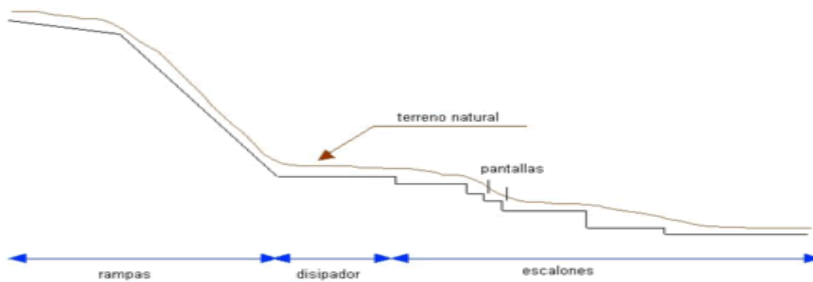


Figura 5 Esquema de una rampa con disipador y escalones. Silva, 2017

Obras de toma y entrega o descarga: Las obras de toma son usadas para conectar la cabecera de un canal con una estación de bombeo, otro canal o un embalse y las de entrega para suministrar agua a un usuario u otro punto de la red de canales

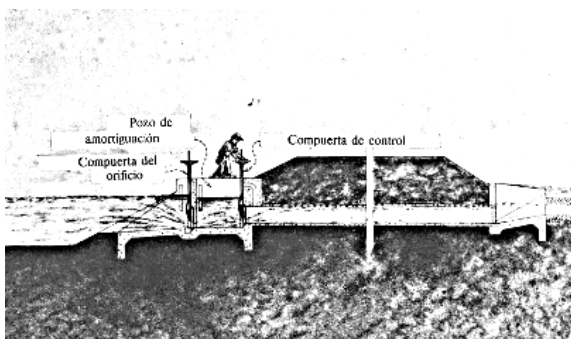


Figura 6 Esquema de una toma de orificio a carga constante. FAO, 1982

Obras de disipación de energía: Muy empleadas para disipar energía a la salida de aquellas obras en que por la velocidad de salida se alcancen valores erosivos para la conducción aguas abajo

Obras para derivar o unir gastos: Son aquellas que se emplean para unir o dividir corrientes de agua

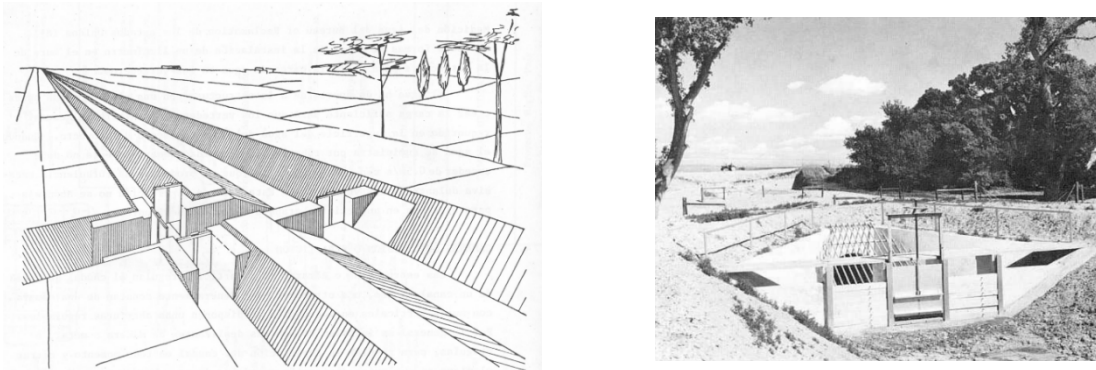


Figura 7 Esquema de una obra para división de gastos típica. FAO, 1982

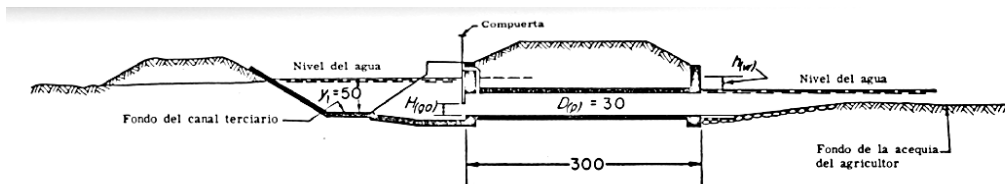


Figura 8 Esquema de una obra para derivar de gastos. FAO, 1982

Obras de Transición: Se emplean para hacer pasar un canal o corriente de agua por la intersección con una vía (carretera, vía férrea, etc.)



Figura 9 Esquema de una obra para cruce de camino, USBR, 1978

Estas obras, al igual que el resto de las obras hidráulicas, tienen características que deben conocerse perfectamente antes de emprender el dimensionamiento específico que dé respuesta a una aplicación concreta. Estas son:

- La selección adecuada del elemento.
- El cálculo y diseño del elemento.

Selección de la obra.

La selección de la obra parte de:

- Los factores que influyen en la decisión.
- El peso relativo de cada factor.

Para clasificar los factores se tomarán en consideración, el criterio de grupos de especialistas, las encuestas que puedan aplicarse a tal fin y se realizó una búsqueda bibliográfica obteniendo de esta última los resultados de mayor significación.

Criterios adoptados para la selección:

- Finalidad de la obra.

En este punto se dividirán las obras hidrométricas en dos grandes grupos bien definidos entre sí:

- Obras para medir.
- Obras para medir y regular.

Existencia de obras hidráulicas.

Este es un aspecto a tener en cuenta en dos situaciones diferentes:

- Que se esté proyectando el canal.
- Que el canal este construido y en explotación.

Se priorizará la solución de la medición con las obras existentes o, en el caso de proyecto, con obras para doble finalidad, solo si estas pueden ser calibradas

convenientemente y si satisfacen los requisitos de medición o medición y regulación que se exigen para una explotación adecuada.

Rango de gastos.

Se adoptará como rango de gasto a la relación entre el gasto máximo y el mínimo ($Q_{\text{máx}}/Q_{\text{mín}}$). Algunas obras como las toberas tienen un rango de gasto del orden de 4 mientras que para otras como las canaletas pueden alcanzar valores de hasta 200 y más. El conocimiento exacto de este valor es sumamente importante en la selección y cálculo de la obra hidrométrica, ya que decidirá sobre el cumplimiento de las restricciones de diseño de cada obra en específico.

Tendrá también una influencia directa en la determinación de los niveles aguas abajo de la obra, no solamente en sus dos extremos, sino que también en valores intermedios, ya que puede suceder que una obra cambie su modo de trabajo respecto a la sumersión y esto solo es posible analizarlo estudiando su comportamiento en todo el rango de trabajo.

En la determinación del rango de gastos para el diseño de la obra hay que diferenciar este valor del rango de gasto que se deben medir, o sea, el que escurre por el canal. Lo ideal en todos los casos es poder seleccionar y diseñar una obra que su rango de gastos coincida con los del canal.

- $Q_{\text{máximo obra}} = Q_{\text{máximo canal}}$
- $Q_{\text{mínimo obra}} = Q_{\text{mínimo canal}}$

Diseño de la obra hidrométrica.

El diseño de una obra hidrométrica debe incluir de forma inexcusable las siguientes partes:

- Planos topográficos, planimétrico y altimétrico, de la ubicación de la obra. Los planos deben abarcar tramos del cauce aguas arriba y abajo del emplazamiento.
- Plano de planta de la obra, perfil por el eje, secciones transversales características, planos de detalle en cantidad suficiente para que se

cumplan todos los requisitos planteados por el autor de la obra y por el proyectista de la misma.

- Cálculo detallado del dimensionamiento de la obra, con las comprobaciones de las restricciones para el gasto máximo y el mínimo.
- Cálculo detallado de las profundidades reales de agua a la salida de la obra para los gastos máximo, mínimo y al menos dieciocho (18) gastos intermedios repartidos a lo largo del rango casi uniformemente. Obtención de la función o funciones que caracterizan la capacidad de servicio del cauce al pie de la obra.
- Cálculo detallado de la relación gasto-carga o gastos-cargas, según sea el caso, para, al menos, los veinte valores de gasto empleados anteriormente, con la verificación del LVL y la corrección necesaria. Obtención de la función que caracteriza la capacidad de servicio de la obra.
- Planos de planta, perfil, secciones y detalles constructivos de las obras inducidas por la obra hidrométrica.
- Justificación técnica y económica de las obras inducidas y el cálculo detallado de sus parámetros de diseño.

Ubicación de la obra.

La elección del emplazamiento y la elección de la obra están íntimamente relacionadas. A continuación, algunas recomendaciones para este aspecto:

- El tramo de aguas arriba debe ser recto, de sección uniforme en una longitud de, al menos, 15-20 veces el ancho superficial para el gasto máximo.
- La pendiente del fondo debe ser constante en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la obra.
- Deben considerarse para elegir el sitio de emplazamiento las obras existentes aguas abajo que puedan influir con su remanso en la obra que se ubica.
- El cauce debe ser estable durante un largo período de tiempo, esto es que la erosión ni la sedimentación afecten su geometría y dimensiones.

- Para la gama de caudales a medir, el Número de Froude (gD/v) no debe superar el valor de 0.5, a una distancia aguas arriba del emplazamiento de la obra igual a 30 veces la profundidad para el gasto máximo. De ser posible el valor del Número de Froude debe ser entre 0,3 y 0,4.
- La cimentación del canal en la zona de la obra debe ser estable y no tener pérdidas de agua apreciables.
- No debe ubicarse una obra sobre una junta de construcción.

Al analizar las obras hidrométricas para medición se detallarán por tipo de obra: el autor, la información necesaria para su diseño, la fórmula para el cálculo del gasto y la información necesaria para su diseño. Al final se plantearán los algoritmos de cálculo manual que son comunes a una o varias obras especificándose su aplicación.

1.3 Mantenimiento y rehabilitación de canales y obras de fábrica.

Las obras de fábrica en los canales de riego de manera general se deterioran por lo que se precisan acciones para su mantenimiento y buen uso. Los conceptos de mantenimiento y conservación se refieren a operaciones normales que deben hacerse de modo periódico para mantener la obra en buen estado y prever anticipadamente su deterioro. Son operaciones imprescindibles, aunque exista tendencia a no emplear en ellas los recursos necesarios. Igualmente es imprescindible la supervisión constante por el personal de explotación para el inicio de cualquier anomalía. (Velásquez, 2017)

Mantenimiento: es la necesidad de conservar y alargar la vida útil de la infraestructura, los equipos y los sistemas, de forma tal que se garantice la forma ininterrumpida y con calidad la producción o los servicios de cualquier tipo.

Rehabilitación: Habilidad o restablecimiento de su estado inicial.

Es una realidad que con el paso del tiempo las obras y los equipos sufrirán un determinado nivel de deterioro en función del grado de explotación y las condiciones ambientales a que hayan sido sometidas en el tiempo. En el caso particular de los canales, merecen una atención especial las labores de

mantenimiento, por su frecuencia de uso e importancia, según PSI-Sierra. Perú, 2020

1.3. 1 Mantenimiento en canales abiertos sin revestir

Los problemas en este tipo de canales y su tratamiento dependen de las características del terreno donde están construidos. Los más comunes son:

Azolves: Se produce por la erosión de los taludes y la sección del canal y por el material arrastrado por el río que llega a entrar al canal por suspensión, afectando obras tales como: sifones, túneles obras de entregas reguladoras y tanques de regulación. Este problema afecta al funcionamiento hidráulico, reduciendo la capacidad de conducción.

Para su prevención se deberá determinar la causa específica que provoca el azolve y tratarla según su naturaleza, por ejemplo: localizar puntos de erosión o el arrastre de suelo por escurrimientos de agua pluvial en las laderas, y verificar el grado de desgaste de los taludes y plantilla del canal.

Erosión: Provoca la pérdida de estabilidad del terreno de los taludes (en terraplén y en laderas) y de las bermas en ambos márgenes del canal. En este caso se deberá comparar la velocidad en el cauce contra la máxima permisible de resistencia al arrastre del material de plantilla y paredes. También vigilar en forma constante la erosión y la estabilidad del terreno de los taludes y las bermas.

Filtraciones: Además de reducir el gasto, pueden llegar a provocar inestabilidad en el terreno y causar daños mayores al canal y otras obras. El control de filtraciones pequeñas, a través de material granular, en la plantilla o taludes se eliminan mediante la aplicación de sellos impermeabilizantes de aceite quemado, breas, ceniza volátil, inyecciones de silicatos, cemento tipo I con puzolana, alquitrán o mezclas de resina. El suelo de la plantilla puede también compactarse mecánicamente.

Crecimiento de plantas en las márgenes, bordo libre y bermas: Para evitar el ablandamiento y grietas en el terreno se deberá cortar la vegetación desde sus raíces.

Socavación: Se produce debido a las altas velocidades del agua, principalmente en las transiciones. En este caso será necesario realizar un estudio del terreno para conocer su resistencia a la erosión, grado de intemperización y permeabilidad.

La conservación de las estructuras que comprenden un sistema de riego, son variados, entre los más importantes tenemos:

Control de la vegetación: en los alrededores del canal se produce una proliferación de la vegetación debido a la abundancia de agua, sedimentos en el fondo donde se sujetan las raíces y, normalmente esta vegetación debe eliminarse periódicamente.

Lo tradicional era limpiar a mano en momentos de secado del canal, otra forma era quemándola luego de un período de secado, esta práctica está en desuso. También se ha probado segarla con cuchillas desde retroexcavadoras y arrancarla mediante cadenas, tiradas por tractores, que arrastran por el fondo. En el caso de la vegetación flotante la solución es situar rejillas o redes que intercepten su paso, estas deben limpiarse frecuentemente.

Reforzamiento y arreglo de bordos: los bordos se deterioran por las siguientes causas: lluvias intensas, tránsito de ganado, vehículos y agujeros o cuevas hechos por animales y por el arrastre del viento. Para hacer el reforzamiento de los bordos en canales pequeños se realiza manualmente, en aquellos de gran capacidad se requiere de un volumen adicional de material. La localización del material de préstamo influye en la selección del tipo de máquina a usar, si son cortas las distancias se emplean buldócer.

Arreglo de taludes: los taludes y las bermas se deterioran por las mismas causas que se deterioran los bordos, sobre todo por las lluvias. El arreglo se realiza de forma manual y con maquinaria dependiendo de las características del canal; con maquinaria se utiliza la tauladora, que son cuchillas de montaje lateral acopladas a un tractor de llanta equivalente al Caterpillar D6.

Mantenimiento de caminos de vigilancia: los caminos en general, dentro de un sistema de riego, son obras de trascendental importancia tanto para los servicios directos de los usuarios como para el personal vigilante de canal a cargo del sistema de riego. Los caminos sufren deterioros con el tiempo por el uso y las condiciones ambientales y deben ser rehabilitados.

Conservación y reparación de taludes: reposición de losas, mampostería y enrocado acomodado.

Reparaciones pequeñas en muros de concreto y mampostería: rasante de grietas, reposición de rellenos en juntas de dilatación y socavaciones al pie de las estructuras.

Limpieza y pintado de estructuras metálicas: reparación de compuertas y mecanismos de operación.

Limpieza de sedimentos: los sólidos arrastrados se sedimentan normalmente en los mismos puntos. Un punto típico es la parte inferior de los tubos de los sifones y alcantarillas, obras de entregas y reguladoras produciendo una pérdida de carga que puede afectar el normal funcionamiento, que pueden llegar a estancarse.

1.3.2 Evaluación de obras para el mantenimiento.

La evaluación de obras para el mantenimiento es un proceso que se debe de ejecutar en dependencia del programa de mantenimiento establecido por las normas correspondientes para los equipos y las obras del organismo rector que en el caso de las obras hidráulicas se trata del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), si no existiera dicho documento puede usarse entonces lo legislado en un organismo como el Ministerio de la Construcción (MICONS). En cualquier caso, teniendo disponible el inventario de equipos e instalaciones del organismo y dependiendo del nivel administrativo que se trate al comienzo del año productivo se deberá confeccionar el plan operativo de Mantenimiento y Reparaciones de forma secuenciada de tal manera que se garantice que todas y cada una de las máquinas e instalaciones en explotación reciban el beneficio de dicho plan.

Yaima Fernández Casi

Todo lo anterior puede sufrir cambios en dependencia de las eventualidades de diferentes categorías que pueden ocurrir durante el proceso productivo, ya sean de carácter técnico como de tipo meteorológico, está claro que después de un evento meteorológico extremo, como es el caso de ciclones, lluvias intensas o un sismo debe de hacerse una inspección inmediata de las instalaciones de todo tipo que se encuentran en la unidad dando prioridad a aquellas que presenten un mayor grado de vulnerabilidad.

Según William Lobo Dugarte. wilobo@intercable.net.ve, (Ingeniero Civil. Master en Gerencia Empresarial), el mantenimiento de la técnica se divide en primaria, detallada o secundaria y proyecto de rehabilitación.

La Evaluación Primaria, está compuesta por un informe cualitativo de la obra, donde se llena una planilla diseñada por el consultor siguiendo las normativas nacionales o internacionales tipo AASHTO, ACI, ASTM o ATC correspondientes al tipo de obra. También se pueden utilizar instructivos especiales diseñados para los Institutos Nacionales tipo MINFRA, HIDROVEN, FONTUR, etc. Si son muchas las obras que se van a evaluar se debe hacer una cuantificación de ellas y luego un tamizado, por ejemplo, si se van a evaluar los canales de riego y sus obras de una zona específica. Durante el tamizado se debe hacer una inspección sencilla de cada obra en campo y llenar una planilla de inventario que genera un primer informe de mantenimiento y complementa una base de datos.

La planilla de la evaluación primaria debe contemplar las condiciones normales de la obra al momento de la evaluación, materiales, componentes, daños, estado de mantenimiento, operatividad, para obras esenciales se deben tener otras especificaciones para evaluación preventiva. También la planilla varía si se elabora después de la ocurrencia de un evento ya que, según el tipo de este, se deben revisar velocidades de viento y chequear con valores normalizados, valores pluviométricos si son lluvias o inundaciones con valores históricos, aforos si son crecientes, aceleraciones si son terremotos, valores de daños para incendios o deslaves y agrietamientos.

Después de tamizadas las obras que se van a evaluar se elabora un método consistente y práctico plasmado en las planillas de evaluación primaria, que permita determinar el estado real de las obras dentro de sus condiciones locales, ambientales, de carga, para así determinar un Índice de Vulnerabilidad de la estructura para sus condiciones actuales de servicio, que reúna el carácter estático de los daños si existen y el aspecto dinámico de los factores externos actuantes. Es importante recordar que no existen obras aisladas sino en relación dinámica con otros elementos de un ambiente condicionante. A continuación, se añade un ejemplo de planillas diseñadas de realizar una evaluación primaria en edificaciones.

Normalmente los métodos de evaluación son del tipo cualitativo (cantidad del deterioro) y cuantitativo (gravedad del deterioro) que permiten de una manera clara, simple y ordenada encarar el problema de evaluar una obra en su condición de uso por simple inspección ocular, ayudado con la instrumentación necesaria, generar tres índices que interpretan el estado de deterioro de la estructura en interrelación con el ambiente condicionante y son los siguientes:

- **Índice de Daños (ID):** es el daño existente en los elementos de la obra por los factores estáticos en el momento de hacer la inspección evaluativa.
- **Índice de Severidad (IS):** es la acción de los agentes exteriores que causan los daños sobre los elementos de la estructura, representa los factores dinámicos de la evaluación.
- **Índice de Vulnerabilidad (IV):** es el nivel de pérdida de uno o de varios elementos estructurales esenciales de la obra al ser sometidos al riesgo de un evento, representa la combinación de los índices de daños y de severidad formando un par ordenado que interpreta la realidad física de la obra, pudiéndose representar por un número porcentual único para cada estructura.

La evaluación Detallada o Secundaria, debe procesar la construcción en función de modelos estructurales, evaluando toda la instalación con sus componentes estructurales y equipos, evaluaciones puntuales tales como

informes hidráulicos, suelos, sonoros, ambientales. Por ejemplo, para los hidráulicos debido a ocurrir problemas de socavación, erosión y azolvamiento se generan programas de desarrollo sostenible de ríos (probablemente en lugares donde se crean los bancos de arena o los meandros). La evaluación detallada se basa en el cálculo de las relaciones Capacidad/Demanda donde cada construcción tiene elementos específicos que deben ser revisados y cada uno tiene una relación de C/D. Los elementos evaluados deben tener relaciones de $C/D < 1$, si la relación es menor de 1 el elemento tiene que ser tratado de forma especial y debe ser rediseñado. De la evaluación detallada se generan los Proyectos de Rehabilitación.

- El resultado de la evaluación detallada me indica el estado general de la obra como un aporte de todos los elementos particulares, generando expresiones que indican un porcentaje (%) total de vulnerabilidad. La demanda está dictada por las normas específicas y las capacidades por modelos estructurales de software lo más aproximados posibles al estado actual de la edificación. La evaluación detallada concluye con recomendaciones que deben de ser resueltas bajo el criterio del consultor y el grado de vulnerabilidad general que presenta la obra directamente en un programa de reparación o en un Proyecto de Rehabilitación.
- Es importante señalar que en Cuba estamos en camino de normalizar los proyectos de rehabilitación en función de sus aspectos de servicio tales como suelos, barandas, elementos no estructurales y de sus elementos estructurales en la adaptación a nuevas normas más exigentes, a la revisión de grietas, apoyos, fundaciones, placas.

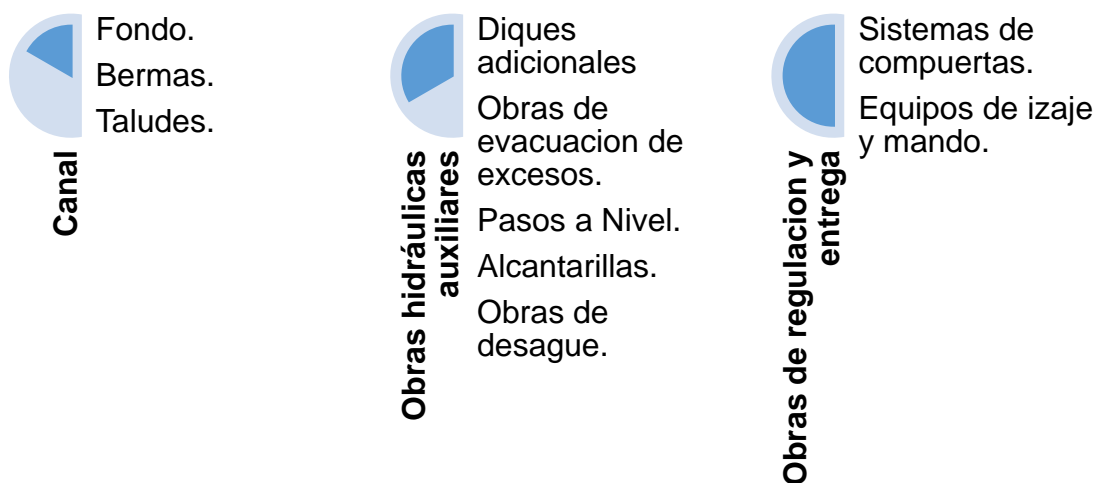


Figura 10 Obras más frecuentes a mantener y rehabilitar en canales de riego. Fuente: Autora, 2020

1.3.2 Breve historia del mantenimiento a obras hidráulicas en Cuba.

En la sociedad cubana, existía una arraigada cultura de la conservación y del mantenimiento en la rama hidráulica debido al amplio historial ingeniero en Cuba, donde destacan La Zanja Real, desde la Presa del Husillo (1ra de este tipo en América), El Acueducto de Fernando VII, El Acueducto de Albear, luego del triunfo revolucionario se introduce en Cuba el MTP (Mantenimiento Técnico Preventivo), de origen soviético.

De los años 1965 a finales de la década del 80, se considera el Cuarto de Siglo de Oro de estas obras en Cuba, en la cuales se produjo una “verdadera explosión hidráulica”, se construyeron cientos de grandes y medianas presas, estaciones de bombeo de grandes caudales y cargas de trabajo, centenares de kilómetros de canales magistrales, grandes conductoras principales, para diferentes objetivos y propósitos. En la rama hidráulica, se previeron, muchos elementos básicos para garantizar el óptimo del aprovechamiento del agua, en gran medida también el mantenimiento. Desde un poco antes del llamado Periodo Especial, en la década del 90, todo lo que se había obtenido, en organización, experiencia y conciencia de la necesidad del mantenimiento en las obras hidráulicas, sufrió un fuerte retroceso, situación que se mantuvo, en una parte de la década del 2000-10, producto de la falta de una política de mantenimiento, por lo que la mayoría de

las obras sufrieron un acelerado proceso de deterioro progresivo. Aunque actualmente en el mantenimiento hidráulico en Cuba, aún existe una alta deuda técnica, muchas de estas obras, han podido o se recuperan paulatinamente, y se comienza aplicar una política estable del mantenimiento. Según el periódico Granma,25-03-2012, urge dar mantenimiento a los canales pues el 60% de las aguas conducidas se pierde.

En este contexto se inserta el mantenimiento del canal Yara, importante obra para el beneficio de más de 11 000 ha de la zona arrocera de este municipio granmense, que hoy sufre el deterioro de muchas de sus obras, esto incluye las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla"

2. Materiales.

La evaluación y posterior rehabilitación de las dos obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla", del canal Yara es una necesidad de la Empresa Arrocera "Yara" y de las Empresas Cañeras "Bartolomé Masó" y "La Damajagua" para garantizar una entrega de hasta 8 m³/s.

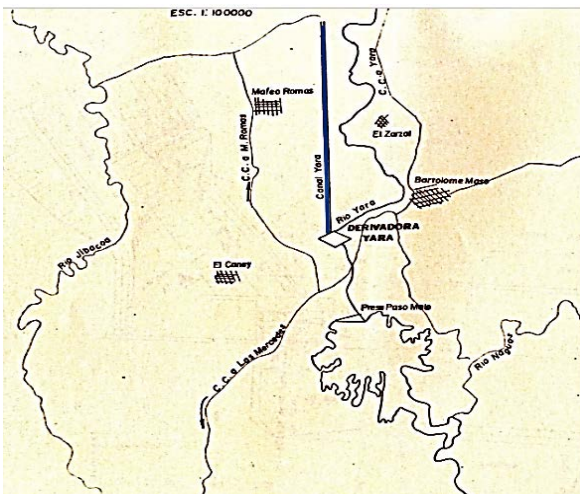


Figura 11 Esquema de ubicación del Canal Yara. Fuente DPRH. Granma, 2020

2.1 Principales características de las obras.

Los datos utilizados para la investigación fueron aportados por la Empresa Provincial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Granma, 2019.

Características del canal Yara: Parte de la Derivadora "Antón Sánchez", en el Municipio Bartolomé Masó. Su trayectoria recorre el suroeste de la Provincia Granma, paralelo al Rio Yara y finaliza en el vial que conduce al poblado del mismo nombre, en su trayecto el canal atraviesa los viales que conducen a los poblados de Mateo Romás, Calambrosio, Yara Arriba, José Martí y Yara. (Ver figura 11)



Figura 12 Vista aérea parcial del canal Yara. Fuente: Google Maps, 2020

2.2 Estado técnico actual de las obras: En visitas efectuadas por directivos de las Empresas Arrocera "Yara", Cañeras "Bartolomé Masó" y "La Damajagua"; y la Empresa Provincial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Granma, se pudo constatar el mal estado técnico constructivo de la mayoría de las obras de fábrica, pero fundamentalmente estas dos obras una reguladora de tubos RTR-3-150-150 y una rápida construida solamente para vencer desniveles del terreno, ambas destruidas por la erosión del agua en ambas márgenes de terreno del *Yaima Fernández Casi*

canal, provocando su salida de servicio y la afectación de las entregas previstas, por lo que se solicitó la evaluación.

2.3 Fuente de abasto: El canal Yara se abastece de las aguas reguladas del embalse "Paso Malo" ubicada en el Municipio Bartolomé Masó de la Provincia Granma.

2.4 Topografía: El relieve de la zona es de una llanura pre montañosa, con pendientes de norte a sur. Las cotas del terreno en el macizo estudiado varían de 25.0 a 60.0 m. La pendiente de la zona por el curso del canal oscila de 0.001 hasta 0.003. El canal en toda su longitud pasa por una zona llana, exceptuando el tramo inicial en que atraviesa un área pre montañosa.

2.5 Condiciones ingeniero geológicas: En las investigaciones se plantea que el área donde están ubicadas las obras pertenece a la formación Cauto. Compuesta por arcillas aluviales de alta plasticidad de color abigarrada o pardas carmelitas.

- Granulometría

Tabla 2.1: Granulometría de los materiales de la cimentación. (Proyecto del canal Yara, 2007)

Material	Granulometría, %
Gravas	0.50 - 11.80
Arena	12.00 - 30.80
Limos	17.60- 18.80
Arcillas	38.80- 69.80

- Límites de Atterberg

Tabla 2.2: Límites de Atterberg de los materiales de la cimentación. (Proyecto del canal Yara, 2007)

Límites de Atterberg	Valores, %
Límite líquido, LL	78.20
Límite plástico, LP	30.80
Índice de plasticidad, IP	47.40

Notas:

Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Yaima Fernández Casi

Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

- Propiedades físico mecánicas del suelo

Tabla 2.3: Propiedades físico mecánicas del suelo en estado natural. (Proyecto del canal Yara, 2007)

En estado natural	Ensayo de Proctor
$\gamma_f = 1.84 \text{g/cm}^3$	$W_{opt} = 21.80\%$
$\gamma_d = 1.35 \text{g/cm}^3$	$\gamma_f = 1.94 \text{g/cm}^3$
	$\gamma_d = 1.59 \text{g/cm}^3$

Donde:

γ_f : Densidad del suelo en estado natural

γ_d : Densidad seca del suelo

W_{opt} : Humedad óptima del suelo.

El nivel del manto freático se encuentra por debajo del nivel de excavación de las obras.

- Parámetros de compactación

Teniendo en cuenta las características de los materiales posibles a excavar se recomendó que se utilicen como rehincho, pero deberán cumplir los siguientes requisitos.

Tabla 2.4: Parámetros de compactación del suelo. (Proyecto del canal Yara, 2007)

Parámetros de compactación	Valores
Humedad óptima, W_{opt}	21.80%
Densidad del suelo en estado natural, γ_f	1.94 g/cm ³
Densidad seca, γ_d	1.59 g/cm ³

Nota: Se recomienda secar el suelo hasta la humedad adecuada dado su alto contenido de humedad natural.

2. 6 Características de las obras de fábrica "Calambrosio" y "Guasimilla"

- Obra de fábrica "Calambrosio"

Ubicación: Canal Yara

Yaima Fernández Casi

Tipo de obra: Reguladora

Descripción de la obra según proyecto: Como se plantea en el proyecto, es una reguladora abierta con compuertas de superficie de 150x150, que consta de los siguientes objetos de obra: entrada, rápida, pozo amortiguador y risberma. Fue diseñada para un gasto de 8 m³/s. Cuenta con dos losas prefabricadas, dos compuertas metálicas que se apoyan en los dos muros de 0,2 m de espesor diseñados para disminuir la carga hidrostática, las pilas que soportan las compuertas, fueron construidas de hormigón armado; luego tiene una transición de 3,30 m a 2,00 m hasta el inicio de la rápida.

La rápida tiene un ancho de 2,00 m, taludes verticales y una pendiente de fondo de 0,018 y altura de muros laterales de 2,00 m. El pozo amortiguador según proyecto tendría 7,00 m de longitud, ancho de 2,00 m y una profundidad de 0, 40 m, sus muros laterales poseen una altura constante de 2,20 m. La risberma tiene un ancho variable, es decir una tiene una transición de 2,00 m a 6 00 m hasta el canal de salida, se previó colocar enrocamiento con piedra con $\phi=20$ cm y un espesor de revestimiento de 50 cm.

Resultados del pesquizaje técnico actual: Se detectó un deterioro total de la sección transversal del canal en un tramo de 50,0m, como resultado del azolvamiento continuo, las principales estructuras de la obra presentan un deterioro severo, solo los hidromecanismos y las compuertas metálicas previo mantenimiento podrían reutilizarse.

- **Obra de fábrica "Guasimilla"**

Ubicación: Canal Yara

Tipo de obra: Rápida

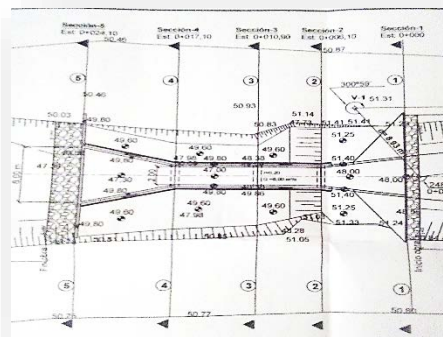


Figura 13 Vista en planta de la obra de fábrica según proyecto, 2007. Fuente: Archivo DPRH Granma, 2020

Yaima Fernández Casi

Descripción de la obra según proyecto: Está compuesta por entrada, rápida, pozo amortiguador y Fue diseñada para un gasto de $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Solo diseñada para vencer los desniveles del terreno. Tiene una losa de entrada, la rápida tiene un ancho de 2,00 m, taludes verticales y una pendiente de fondo de 0,002 y altura de muros laterales varia de 2,00 m a 2,80 m. El pozo amortiguador según proyecto tendría 6,20 m de longitud, ancho de 2,00 m y una profundidad de 0,45 m, sus muros laterales poseen una altura constante de 2,80 m. La risberma tiene un ancho variable, es decir una tiene una transición de 2,00 m a 6,00 m esta transición tenía una longitud de 7,00m hasta el canal de salida, se previó colocar enrocamiento con piedra con $\phi=20 \text{ cm}$ y un espesor de revestimiento de 50 cm.

Para la construcción de estas obras se proyectó además un canal de desvío de gasto de $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$ a propuestas de los inversionistas con sus respectivas alcantarillas para el cruce de los caminos de explotación con tubos de $\phi=1500 \text{ mm}$.

Estado técnico actual: Se detectó un deterioro total de la obra, aunque los tubos de $\phi=1500 \text{ mm}$, están en buen estado técnico a pesar de tienen muchos azolves y vegetación y podrían reutilizarse.

Los trabajos que se necesitan realizar para la rehabilitación de las obras son de movimiento de tierra y estructurales pues se mantienen las condiciones de gasto de diseño previstas como entrega máxima del canal Yara.

3. Propuesta de rehabilitación.

Es necesaria la rehabilitación (reconstrucción) de los tramos de canal donde se ubican las obras de fábrica. Esta acción induciría el relleno de este tramo del canal con arcilla hasta la cota de los muros laterales, compactarse según las recomendaciones de proyecto, para posteriormente conformar la sección transversal del canal con ancho de plato 6,0 m, taludes $m=1,50 \text{ m}$.

La rehabilitación total de ambas obras de fábrica, que implica la construcción de las estructuras de entrada (losa de fondo y muros de hormigón armado y

protección contra la erosión con piedras, construcción del muro partidor, losa de operación), las rápidas (losa de fondo y muros laterales), pozos amortiguadores (losa de fondo y muros laterales), salidas (losa de fondo, muros laterales y aletones) así como la protección contra la erosión con piedras de la salida.

Estos trabajos de rehabilitación, inducen la construcción de dos canales de desvío para continuar las entregas de agua a los diferentes usuarios del sistema. Se propone que sean de ancho de plato de 1,00 m y taludes 1,15, deben construirse además dos diques o ataguías para aislar la zona de construcción y evitar la penetración del agua, los mismos cumplirán con los requisitos de densidad óptima de compactación, con ancho de corona 3,5 m y taludes 1:2 y altura de 1,5 m.

Antes de iniciar la construcción de ambas obras se debe eliminar todo el material indeseable (lodos, vegetación, piedras y restos de hormigón), y luego de concluir los trabajos taparse los canales de desvío y retirar los tubos de alcantarillas que se utilizaran en el cruce del camino de explotación.

Estos trabajos deberán realizarse para la etapa de ingeniería de detalle con todas las investigaciones previstas para esa etapa según las normas y regulaciones de proyecto.

CONCLUSIONES.

1. El mantenimiento y/o rehabilitación de los canales de riego y, obras de fábrica es una práctica necesaria e imprescindible, con una larga tradición a nivel mundial.
2. Las obras de fábrica de uso más común en los canales de riego.
3. La rehabilitación de las obras de fábrica de las "Calambrosio" y "Guasimilla" del canal "Yara" permitirá aumentar las áreas bajo riego de las Empresas Arroceras "Yara", Cañeras "Bartolomé Masó" y "La Damajagua"

RECOMENDACIONES.

- Presentar los resultados de la investigación a los directivos de las Empresas Arroceras "Yara", Cañeras "Bartolomé Masó" y "La Damajagua"; y Empresa la Provincial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Granma, para su valoración.
- Continuar profundizando en la investigación, a partir de la topografía actualizada de los tramos de canal para poder realizar los cálculos pertinentes a la etapa de ingeniería de detalle, esto permitiría completar la propuesta con los tipos y volúmenes de trabajo necesarios y el costo de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Díaz, J. A. El agua en Cuba: Un desafío a la sostenibilidad. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Volumen XXXIX, No. 2, p. 46-59. (2018).
2. Díaz, J.A. Hacia el uso sostenible del agua en Cuba. IX Congreso Cubano de Geología, Geología´2011, La Habana. ISBN 978-959-7117-30-8. (2011)
3. FAO. Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO Roma, 2013.
4. FAO. Livestock's long shadow. Roma, FAO. (Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>). 2006
5. FAO. Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Cinco años después. El agua y la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia. , (2002)
6. FAO. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Publicado por: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid (España) www.mundiprensa.com., (2012)
7. FAO, Uso del agua en la agricultura. Visitado el 11 de marzo 2020. Disponible en: <https://www.FAO.org/siduvents.papers>. 2002
8. FAO. Riego, agua y cultivos. Visitado el 13 de marzo de 2020.
9. Historia ancestral del riego agrícola. El agua de riego. Visitado el 13 de marzo 2020. Disponible en <https://www.traxaco.es>
10. Historia ancestral del riego agrícola. El agua de riego. Visitado el 13 de marzo 2020. Disponible en <https://www.traxaco.es>
11. <https://www.ecured.cu/Mantenimiento>
12. Iglesias; G; Reinaldo. El mantenimiento en las obras hidráulicas. Manual. Ciudad de La Habana, Cuba, Editorial Universitaria Félix Varela. (2015)

13. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Principales indicadores y datos de infraestructura hidráulica. (2016)
14. León; A. Hidráulica de Canales. Ciudad de La Habana, Cuba, Editorial Universitaria Félix Varela. (2006)
15. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), AQUASTAT. FAO's Information System on Water and Agriculture. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat> [Consulta: febrero 18 2019]. (2015)
16. Prieto; Velázquez; Francisco. Canales. Generalidades. Obras y Elementos; (2007)
17. Rodríguez Ruiz, Pedro, Conceptos y Elementos de un Canal. 2011. Visitado el 6 de marzo de 2020. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/>
18. Ficha técnica del canal Yara. . DPRH, Granma. (1974)
19. Tamayo; Marlén; El agua: un preciado líquido. Museo Nacional de Historia Natural. La Habana, Cuba. Visitado el 11 de marzo 2020. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Agua>; (2011)
20. Torres; H; Francisco. Obras Hidráulicas. Editorial Limosa. México (2019)
21. Ven Te Chow, Hidráulica de los canales abiertos. 1982. Visitado el 10 de marzo de 2020. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_%28ingenier%C3%ADa%29
22. Ven Te Chow, León, P HD. Hidráulica de los canales abiertos. Bogota Colombia: s.n., (1994)