

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“PATOLOGÍAS EN CANALES DE RIEGO DE HORMIGÓN ARMADO”**

**LIZA LORENA ALVEAR CIFUENTES**

PROYECTO DE TÍTULO  
PRESENTADO A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL AGRÍCOLA.

**CHILLÁN – CHILE**

**2024**

## PATOLOGÍAS EN CANALES DE RIEGO DE HORMIGÓN ARMADO

Aprobado por:

Ana María Aguilar Bazignan

Ingeniero Constructor, Mg.

Profesor Asistente

---

Profesor Guía

José Luis Arumí Ribera

Ingeniero Civil, Ph. D.

Profesor Titular

---

Profesor Co-Guía

Nicole Uslar Valle

Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.

Profesor Asistente

---

Profesor Asesor

Dr. Juan Cañumir Veas

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Profesor Asociado

---

Director Departamento

María Eugenia González Rodríguez

Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

Profesor Asociado

---

Decana

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi hijo por ser mi más grande motivación en la vida, esto es por él.

A mi madre por tenerme la paciencia y entregarme un apoyo incondicional en todos estos años.

A mi pareja por siempre estar en mis momentos de desmotivación y alentarme en seguir adelante con amor.

A mi profesora guía por entregarme confianza y dedicación en este proceso.

A el Crhiam por ser becaria en el proyecto ANID/FONDAP/1523A0001.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1.1. Objetivo general.....	8
2.1.2. Objetivo específico.....	8
3. MARCO TEORICO.....	9
3.1. ORIGENES DE CADA PATOLOGÍA.....	14
3.1.1. Erosión del suelo.....	14
3.1.2. Presencia de agua subterránea somera.....	15
3.1.3. Meteorización.....	17
3.1.4. Geotecnia de la compactación del suelo.....	18
3.1.5. Vegetación como problema en la construcción.....	21
3.1.6. Hormigón armado.....	23
3.2. SOLUCIONES A LAS PATOLOGÍAS.....	26
3.2.1. Diseño hidráulico.....	26
3.2.2. Gestión del agua subterránea.....	27
3.2.3. Drenaje.....	28
3.2.4. Mantenimiento y monitoreo regular.....	29
3.2.5. Vegetación como aliada en la construcción.....	29

3.2.6.	Revestimientos protectores impermeables .....	30
3.2.7.	Protección del canal de riego.....	30
3.3.	DETALLES CONSTRUCTIVOS .....	31
3.3.1.	Drenaje en el canal.....	32
3.3.2.	Protección del canal.....	35
3.4.	EVALUACION DE COSTOS.....	37
4.	CONCLUSIONES .....	39
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
6.	ANEXOS.....	45

**ÍNDICE DE TABLAS**

En el texto	Página
Tabla 1. Cuadro resumen del cuestionario realizado a los expertos. ....	11
Tabla 2. Costo total para cada ítem en un largo de tramo de canal de 10m, análisis de presupuesto unitario (APU) en pesos chilenos (CLP), precio total (P.T) en pesos chilenos y en unidad de fomento chilena (UF). ....	38

## INDICE DE FIGURAS

En el texto	Página
Figura 1. Los procesos del ciclo hidrológico.....	15
Figura 2. Meteorización por agua. ....	17
Figura 3. Tipos de compactación.....	200
Figura 4. Problema por vegetación en un canal de riego de hormigón armado.....	23
Figura 5. Microfisuras en hormigón armado .....	25
Figura 6. Detalle de sección canal tipo (en m). Fuente: elaboración propia. .....	311
Figura 7. Sección tipo subdren de grava para canal revestido de hormigón armado (cotas en m).....	33
Figura 8. Sección tipo drenaje de barbacanas en losa y en muro (cotas en m).....	34
Figura 9. Sección tipo canal con revestimiento protector impermeable (cotas en m).....	35
Figura 10. Sección tipo de dique de mampostería hidráulica y dique provisorio para un canal de riego (cotas en m).....	36
Figura 11. Sección tipo canal con valores dados (cotas en m).....	37

**INDICE DE FIGURAS**

En el Anexo	Página
Figura A1. Cuestionario aplicado a los expertos .....	445
Figura A2. Ficha de especificaciones malla acma c-139.....	46
Figura A3. Capacidad de conducción tubo drenante de plástico en L/s.. ....	47
Figura A4. Requisitos de los geotextiles para drenaje.....	47
Figura A5. Ejemplo de una válvula antirretorno para utilizar en las barbacanas del canal de riego.....	48
Figura A6. Geometría de variables escogida para cubicación muro de mampostería en Figura 5.....	49
Figura A7. Cubicaciones para la evaluación de costos. ....	500
Figura A8. Análisis de presupuestos unitarios.....	500

## PATOLOGIAS EN CANALES DE RIEGO DE HORMIGON ARMADO

### PATHOLOGIES IN REINFORCED CONCRETE IRRIGATION CANALS

**Palabras claves:** Ingeniería aplicada, diseño hidráulico, soluciones constructivas.

#### RESUMEN

Los canales de riego son fundamentales a la hora de entregar agua a los agricultores. Por lo mismo, un mal diseño, genera importantes costos sociales y económicos. Un canal de riego defectuoso implica que el agua escurra hacia otros lugares sin llegar al destino deseado, generando pérdidas al no poder abastecer el cultivo con el agua necesaria para producir lo estimado por el agricultor, dando paso a daños y/o bajas de la producción, que se traducen en consecuencias monetarias significativas para él y su alrededor. Por esta razón, el principal objetivo es identificar mediante la información entregada por profesionales que trabajan diariamente en él área, las problemáticas que pueden presentar los canales de riego para luego realizar una revisión bibliográfica sobre ello. Una de ellas son las patologías que puede presentar el suelo, tales como: la erosión, la presencia de aguas subterráneas, la densidad óptima para la compactación del suelo antes de construir un canal de riego, incluyendo incluso la vegetación, ya que, si no se controla en el debido tiempo, también puede generar impactos negativos en la construcción.

Todo esto sin olvidar las patologías propias del hormigón armado, factor esencial al momento de edificar, debiendo ser meticuloso y exigente al momento de elegir, tanto materiales, como al personal para la mano de obra. Es por esto, que se generan soluciones constructivas con los tres problemas más frecuentes mencionados por los profesionales. Además de la confección de un presupuesto por metro de canal construido, lo que permite visualizar una solución real para corregir estas patologías, ayudando a importantes proyectos agrícolas.

## PATHOLOGIES IN REINFORCED CONCRETE IRRIGATION CANALS

**Keywords:** Applied engineering, hydraulic design, constructive solutions.

### ABSTRACT

Irrigation canals are essential in delivering water to farmers. For this reason, a bad design generates important social and economic costs. A defective irrigation channel implies that water drains to other places without reaching the desired destination, generating losses by not being able to supply the crop with the water necessary to produce what the farmer estimated, giving rise to damage and/or production losses. , which translate into significant monetary consequences for him and those around him. For this reason, the main objective is to identify, through the information provided by professionals who work daily in the area, the problems that irrigation canals may present and then carry out a bibliographic review on it. One of them are the pathologies that the soil may present, such as: erosion, the presence of groundwater, the optimal density for soil compaction before building an irrigation canal, including even the vegetation, since, if not is controlled in due time, it can also generate negative impacts on construction. All this without forgetting the pathologies of reinforced concrete, an essential factor when building, having to be meticulous and demanding when choosing both materials and personnel for labor. This is why constructive solutions are generated with the three most frequent

problems mentioned by professionals. In addition to the preparation of a budget per meter of canal built, which allows visualizing a real solution to correct these pathologies, helping important agricultural projects.

## 1.INTRODUCCIÓN

“El déficit hídrico y la escasez de agua extremos afectan casi 1200 millones de personas a escala mundial” (FAO, 2020, p.78). Es por esto, la importancia de gestionar eficientemente los recursos hídricos para la agricultura y una correcta construcción de canales de hormigón armado permite controlar la distribución del agua que cada cultivo requiere, minimizando el desperdicio de este recurso tan importante. Este desafío está estrechamente vinculado con el desarrollo económico y social del entorno, ya que, en la región de Ñuble, la agricultura es la principal actividad económica, y al 2021 “la red de canales tiene una longitud total de 13.493 km y riega una superficie de alrededor de 60.000 hectáreas” (Buzolic et al., 2021, p.4).

Es importante destacar como el agua puede marcar la diferencia entre una cosecha exitosa o grandes pérdidas, por esto en este trabajo entender el impacto de una buena gestión de los recursos hídricos en las personas, me motiva a buscar las soluciones requeridas para que un canal de riego de hormigón armado sea eficiente y duradero. Contribuyendo al bienestar de las comunidades que dependen de estas infraestructuras para su sustento y desarrollo.

Los canales de riego en la historia mundial han existido desde la antigüedad, en Egipto antiguo y Mesopotamia, en donde, “la creación de estructuras para

los sistemas de canalización, riego y transporte del agua tuvo un gran impacto en el desarrollo de la humanidad e hizo posible la aparición de ciudades y la expansión de la agricultura” (Canaleduca, 2014, p.21).

Con el paso de los años, los canales se han ido perfeccionando y expandiendo por todo el mundo. En la era moderna, la ingeniería hidráulica mejoró las técnicas de construcción, la importancia de la planificación y el diseño de los canales de riego. Luego en la revolución industrial se presentó la innovación de maquinarias que permitieron hacer proyectos a gran escala. Y en la actualidad, se ha mejorado cada vez más los estudios correspondientes para que los sistemas de riego sean más precisos y eficientes.

Por otra parte, una patología en el ámbito constructivo se refiere a un problema que interfiere en el funcionamiento adecuado de una estructura, dañando su estabilidad o durabilidad. “Todo el medio físico natural constituiría un agente agresor de la construcción” (Elguero, A. M. 2004, p.11). Por lo tanto, las patologías de un canal de riego se pueden presentar desde antes de poder diseñarlo. En este caso, lo primero que se deberá evaluar y detectar son las patologías del mismo suelo en el que se requiere construir, tomando en consideración el tipo, la densidad, y la topografía del suelo, para generar de raíz, una buena compactación de éste. Al igual que se deberá investigar si los niveles de aguas subterráneas son someros, pues esto genera riesgo para la construcción de un canal de riego, principalmente por flotación. Del mismo

modo, se deberá tener presente las patologías de la construcción en sí del canal de riego, ya que está fabricado de hormigón armado, el cual presenta problemas constructivos si no se genera un buen diseño o si no se emplea un mantenimiento y monitoreo regular.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1.1.Objetivo general**

-Identificar diversas patologías presentes en un canal de riego de hormigón armado.

### **2.1.2.Objetivo específico**

-Identificar patologías de los canales de riego de hormigón armado a través de información proporcionada por expertos en la región de Ñuble.

-Diseñar soluciones constructivas asociadas a las patologías para canales de riego de hormigón armado.

-Evaluar costos según soluciones constructivas asociadas a las patologías.

### **3.MARCO TEORICO**

Las patologías en canales de riego se pueden originar de una combinación de diversos factores. Las causas más comunes es un mal diseño del canal, ya que puede que los elementos constructivos no cumplan los requisitos mínimos para el soporte y la distribución del agua. También es muy importante saber la calidad de los materiales, ahora bien, una baja calidad de los materiales permite una degradación prematura de ellos. Evitar los errores de construcción es muy importante, ya que una mala ejecución en la instalación del canal de riego trae consigo consecuencias a corto y largo plazo, debilitando y afectando el desempeño de la estructura.

Por otro lado, existen patologías provenientes del entorno en el cual se quiere construir, por ello es primordial hacer un estudio de mecánica de suelos e hidrológico, debido a que los diversos factores de las patologías de la construcción provienen de fallas de suelo, inundaciones, asentamientos, empujes laterales entre otros.

El objetivo de esta revisión bibliográfica sobre cada una de las patologías asociadas a los canales de riego de hormigón armado es poder determinar las soluciones más adecuadas para cada una de ellas, de igual manera establecer recomendaciones de un buen uso del canal y del agua que transporta para evitar pérdidas, ya sea de agua o constructiva.

Es por esto que se diseñó un cuestionario conforme a los canales de hormigón armado construidos en la región de Ñuble (véase Figura A1. en el anexo), cuyo principal objetivo es detectar los problemas más recurrentes que se suelen presentar en los canales y que patologías se pueden provocar. Este cuestionario se realizó a expertos que actualmente trabajan en el área de mantenimiento, supervisión, diseño y operación en canales de riego de hormigón armado. El contenido del cuestionario trata de saber cuál es el propósito de los canales de riego, los principales problemas que se pueden presentar, saber si el clima y/o desastres naturales lo pueden afectar, inspección y medidas de prevención para su cuidado, etc. Con los resultados de la información proporcionada por cada uno de los expertos, los hallazgos más frecuentes son que se han presentado problemas climáticos, por presencia de agua subterránea o de infraestructura. Por lo tanto, teniendo en cuenta lo antes mencionado, se lleva a cabo la realización del siguiente cuadro resumen del cuestionario:

Tabla 1. Cuadro resumen del cuestionario realizado a los expertos.

Problemas presentes en canales de riego de hormigón armado	Patologías que se generan por los problemas	¿Porque se generan estas patologías?
Clima (extensas lluvias - deshielos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento caudal</li> <li>- Derrumbes</li> <li>- Empuje lateral</li> <li>- Erosión</li> <li>- Volcamiento de taludes</li> </ul>	No se sabe cuándo se pueden presentar y los diseños antiguos no están preparados para el cambio de las condiciones climáticas
Presencia de agua subterránea somera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asentamiento</li> <li>- Infiltración</li> <li>- Flotación</li> <li>- Volcamiento de taludes</li> <li>- Socavación</li> </ul>	Mal estudio hidrológico del suelo y extensas precipitaciones
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosión</li> <li>- Vegetación</li> <li>- Fisuras, grietas</li> <li>- Ataque biológico y químico</li> </ul>	Mal diseño del proyecto, poca supervisión y mantenimiento del canal o por desastres naturales como temblores o terremotos

Con la recopilación de la información proporcionada por cada uno de los expertos, en síntesis, se extrae el objetivo de conocer los problemas más frecuentes que se pueden presentar en los canales de riego de hormigón armado los cuales son:

### **Presencia de aguas subterráneas someras**

Al momento del diseño de la construcción del canal de riego, lo primordial es analizar si el nivel de las aguas subterráneas en el lugar está cercano a la superficie (aguas subterráneas someras). Ya que, se debe asegurar la estabilidad estructural de canal para evitar problemas tales como la subsidencia, flotación, volcamiento de taludes, erosión del suelo o la corrosión del hormigón debido a la infiltración del agua en el canal de hormigón armado.

### **Infraestructura**

La importancia del proyecto de un canal de riego es que se debe planificar muy bien, ya que toda la responsabilidad que conlleva ejecutar este proyecto cae en la persona que lo construye, teniendo en cuenta las variables de construcción tales como; los moldajes, la armadura, la calidad del hormigón o del concreto y los tipos de aditivos que se le administra para conseguir un canal de hormigón armado durable y estable con el tiempo.

Cuando se habla de infraestructura también se refiere a lo ya construido para poder mejorar y arreglar esta infraestructura dependiendo de las condiciones en las que se encuentre. Las patologías más recurrentes en este caso son de la erosión producida por el agua y desastres naturales.

## **Clima**

Ñuble es una región que constantemente debe enfrentar condiciones climáticas adversas con intensas lluvias. Como la del pasado invierno del 2023, la cual provocó innumerables daños de infraestructura, inundaciones y desbordes en los canales de riego. Una construcción, que, ante los avances del cambio climático, deberá ser cada vez más rigurosa y precisa. “La infraestructura hídrica convencional es cada vez más vulnerable al cambio climático y puede incurrir en costos cada vez más altos o impactos sociales y ambientales adversos” (Programme, 2020, p.59).

Entonces, para el diseño de un canal, se debe considerar las “estadísticas hidrológicas de los caudales máximos diarios anuales para mínimo los últimos 30 años” (Ministerio de Desarrollo Social, 2016, p.12), lo cual se entiende como un periodo de retorno de 30 años, el cual se utiliza para determinar la capacidad y las dimensiones del canal, que está relacionado con la probabilidad de ocurrencia de posibles eventos extremos de precipitación y caudales. En el caso particular de las condiciones climáticas vividas el año 2023, estas superaron largamente el período de retorno de 30 años y por ello se produjeron los daños mencionados anteriormente, generando grandes pérdidas en el ámbito social y económico.

Ya obtenidos los problemas más recurrentes en los canales de riego de hormigón armado mediante la información entregada por los profesionales

entrevistados. Se entiende que cada uno de estos problemas conlleva distintas patologías, por lo que es necesario saber de donde nace cada una de ellas mediante una revisión bibliográfica, y por consiguiente mencionar una solución acorde a los problemas más recurrentes.

### **3.1.ORIGENES DE CADA PATOLOGÍA**

Cada patología extraída de los problemas más recurrentes en los canales de riego de hormigón armado tiene su origen y explicación, las cuales son presentadas a continuación:

#### **3.1.1. Erosión del suelo**

“La erosión vista como un fenómeno geológico natural es causada por acción del agua o del viento, y provoca la pérdida de las partículas del suelo” (Almorox, López, Rafaelli, 2011, p.34). Dentro de la erosión de suelo encontramos un tipo de problema que puede afectar a los canales de riego de hormigón armado que es la socavación o lavado el cual provoca la remoción del material del lecho y/o taludes del canal mediante flujos constantes de agua, desgastando y/o erosionando gradualmente la estructura de un canal, aumentando el riesgo de colapso.

Este tipo de patología se encuentra en problemas de infraestructura y por el clima.

### 3.1.2. Presencia de agua subterránea somera

La presencia de agua subterránea somera es aquella situada cerca del nivel freático, constituyendo flujos de agua que se mueven a través de las rocas o suelos permeables. Son importantes porque son una fuente de agua dulce y pueden ser utilizadas para abastecer a la población, la agricultura y la industria. Las aguas subterráneas se originan cuando el agua se infiltra en el suelo, ya sea de lluvia o escorrentía. El agua se acumula en zonas saturadas bajo la superficie del suelo, moviéndose a lo largo de las capas impermeables. Escurriendo con una velocidad que varia dependiendo de la permeabilidad del suelo. (Figura1)

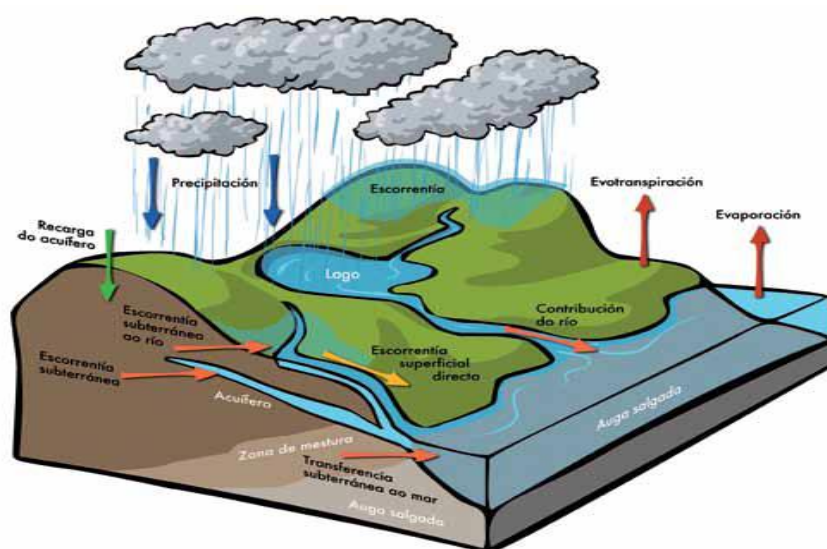


Figura 1. Los procesos del ciclo hidrológico. Fuente:

<http://es.contenidos.climantica.org/unidades/3/a-auga-enmovimiento/unmovimiento-ciclico/os-procesos-do-ciclo-hidroloxico>.

Problemas por presencia de agua subterránea somera:

-Asentamientos: hundimiento del suelo causado por los cambios en el nivel freático o la extracción excesiva del agua subterránea, provocando daños estructurales, problemas de drenaje e inestabilidad del terreno.

-Infiltración de agua: es cuando se pierde agua a través de la estructura del canal generando pérdidas en el caudal de riego.

-Infraestructura: las corrientes de aguas se pueden filtrar ya sea en túneles, canales o cualquier tipo de construcción dañando los cimientos de la estructura porque afecta en la capacidad de carga del suelo lo que genera asentamientos provocando problemas estructurales o dificultades de excavación en el terreno siendo necesario drenar toda el agua para poder edificar.

-Flotación: es un fenómeno en el que una estructura tiende a elevarse o flotar debido a la presión ejercida por el agua subterránea.

-Volcamiento de taludes: se produce cuando la acumulación de agua ejerce presión sobre un talud o una pendiente, lo que puede provocar el volcamiento de la masa de tierra o sedimentos que componen el mismo alrededor del canal de riego.

### 3.1.3. Meteorización

La meteorización del suelo es el proceso natural de fragmentación y desintegración de las rocas y minerales que forman el suelo al estar en contacto con la atmósfera, “los principales factores que controlan la meteorización son el clima y la litología. En el factor clima, la humedad y la temperatura son determinantes como agente de meteorización” (Gómez, 2020). Por lo tanto, Existen varios tipos principales de meteorización del suelo:

-Meteorización física: ocurre cuando las rocas y los minerales se rompen y desintegran debido a los cambios de la temperatura, la presión y la actividad biológica.

-Los terremotos, la actividad volcánica, la presión, la nieve y el agua como se muestra en la Figura 2. Pueden generar meteorización del suelo.

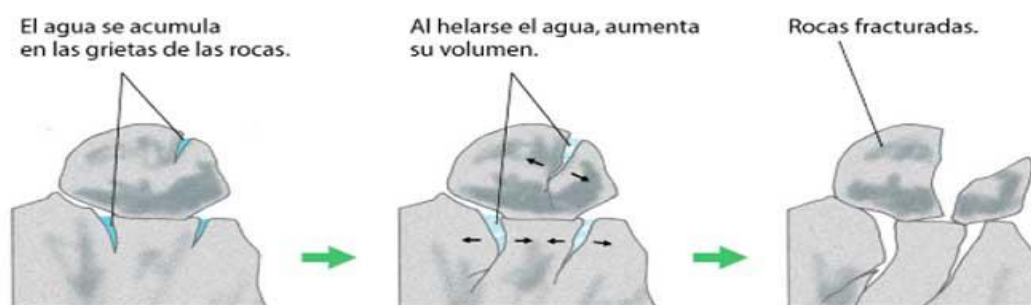


Figura 2. Meteorización por agua. Fuente: La Geografía.  
<https://lageografia.com/geografia-fisica/meteorizacion-fuerzas-modificadoras-relieve>

En sí como la meteorización es un proceso natural y muy importante para la formación de suelos, también puede tener impactos negativos tales como:

-Daño infraestructural: la meteorización al debilitar las rocas y suelos que conforman la base de las estructuras y construcciones los puede llevar a una falla estructural y al colapso en sí.

-Topografía: la meteorización puede cambiar la forma y la topografía de la superficie terrestre, afectando el flujo de agua en la superficie y en las aguas subterráneas, teniendo consecuencias negativas para la hidrología del suelo.

Estas patologías se encuentran en los problemas por infraestructura, cabe destacar que son en periodos extensos porque es un proceso natural y largo.

#### **3.1.4. Geotecnia de la compactación del suelo**

“La compactación es un proceso mecánico que tiende a disminuir la proporción del volumen total de poros en un material” (Herráez, F., Moreno, A., 2019, p.261). Por lo tanto, la compactación del suelo se refiere al estudio y la aplicación de técnicas para compactar el suelo y aumentar su densidad y resistencia mediante la eliminación de espacios de aire entre las partículas del suelo. La compactación puede ser natural o inducida, y se puede lograr mediante el uso de técnicas y maquinarias especiales.

En la construcción de estructuras y obras civiles, la compactación del suelo es un proceso importante para mejorar la resistencia del suelo y reducir el riesgo de asentamiento. También puede ayudar a reducir la permeabilidad del suelo, lo que es importante en la construcción de estructuras que necesitan una base sólida y estable.

**Existen diversas formas de compactación, las que se pueden resumir en:**

-Compactación estática: ocurre con el mismo peso de la máquina o persona para compactar el suelo, usado en suelos cohesivos.

-Compactación dinámica: ocurre cuando se utiliza el impacto de un objeto pesado que se deja caer sobre el suelo para compactar, usado en suelos granulares.

-Compactación por vibración: ocurre utilizando una máquina que vibra para compactar el suelo, útil en áreas de difícil acceso logrando una mejor eficiencia.

En la Figura 3 se ve gráficamente el impacto en el suelo de estos tres tipos de compactación.

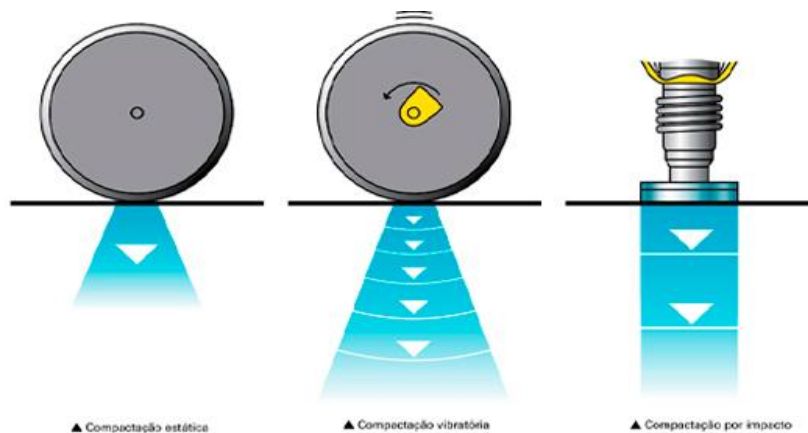


Figura 3. Tipos de compactación. Fuente: <https://blog.intermaquinas.online/las-mejores-maquinas-para-la-compactacion/>

La compactación del suelo es muy importante para la construcción y la geotecnia, pero si no se trabaja de la manera adecuada puede generar varios problemas tales como:

-Impermeabilización del suelo: la compactación puede reducir la permeabilidad del suelo, dificultando la filtración del agua a través del mismo, provocando problemas de drenaje.

-Erosión del suelo: la compactación puede aumentar la erosión del suelo al reducir la capacidad de retener agua, provocando problemas de estabilidad y degradación ambiental.

-Disminución de la capacidad portante del suelo: si hay demasiada compactación se reduce la capacidad portante del suelo, ya que no podrá

soportar el peso de las estructuras que se construyen sobre él, produciendo asentamientos y problemas estructurales.

Con esto se puede entender que la densidad es un factor importante para tener una buena compactación del suelo, ya que “depende de la energía aplicada, de la granulometría del suelo y de su contenido de humedad” (González, M., 2004, p.56). Por esto es clave saber el tipo de suelo y que uso se llevará a cabo en él.

La densidad del suelo también puede variar por otros factores como el contenido de humedad que presenta cada suelo y la forma que se utilizara para compactar este. Cabe destacar que una buena compactación garantiza la estabilidad y resistencia del suelo que se necesita para que no caiga en ninguna de las problemáticas mencionadas anteriormente.

### **3.1.5. Vegetación como problema en la construcción**

“El crecimiento desmedido de la vegetación puede causar graves problemas pudiendo comprometer algunos componentes de la construcción” (Miceli, A. 2021, p.141) por varias razones. En primer lugar, puede interferir con el proceso de construcción en sí, también puede obstaculizar el movimiento del equipo de construcción y los trabajadores, lo que puede aumentar el tiempo y los costos de construcción. Si la vegetación es particularmente densa o alta,

puede ser necesario limpiar el sitio antes de la construcción, lo que puede ser un proceso costoso y demorado.

Además, la vegetación puede crecer en áreas donde se ha excavado o rellenado tierra para la construcción. Esto puede afectar la estabilidad del suelo y la capacidad de soporte de cualquier estructura construida sobre el suelo. Si se permite que crezca en estas áreas, las raíces de la planta pueden debilitar el suelo, lo que puede hacer que se hunda o que la estructura construida sobre él se incline o incluso se derrumbe.

Otro problema que puede presentarse es que la vegetación produce raíces que penetran en las estructuras construidas y causar daños. Si sus raíces penetran en la estructura, pueden debilitarla y comprometer su estabilidad. En algunos casos, puede ser necesario reparar o reforzar la estructura, lo que puede ser costoso y prolongar el tiempo de construcción.

En el caso de un canal de riego, se forman algas o plantas debido a las condiciones climáticas de las altas temperaturas. Estas algas o plantas forman una capa sobre el hormigón armado, las que provocan que el nivel de agua sea más alto y pueda producir la obstrucción del flujo del agua, reduciendo la eficiencia de riego y contribuir a la sedimentación. Por ello es importante tener los requerimientos adecuados de mantenimiento de los canales revestidos

para mantener controlado este crecimiento de algas y plantas para garantizar un flujo de agua eficiente.



Figura 4. Problema por vegetación en un canal de riego de hormigón armado.

Fuente: <https://agua.org.mx/coahuila-avanza-obra-para-conducir-el-agua-la-voz/>

### 3.1.6. Hormigón armado

El hormigón armado es un conjunto de varios materiales tales como: cemento, fierro, áridos, agua y aditivos. Siendo una y de las más importantes al momento de construir alguna estructura por su resistencia y durabilidad. Al generar la composición de cemento y fierro “se complementa de modo que su trabajo

conjunto les permite absorber y disipar esfuerzos mecánicos” (Solminihaç, H. Thenoux, G., 1997, p. 262), a su vez proporciona la resistencia a las fuerzas de compresión y tracción lo que lo convierte en un material compuesto que puede soportar grandes cargas significativas y dispuestas a tener una alta durabilidad a cualquier ambiente agresivo. Otras de sus ventajas es una amplia gama de diseños estructurales. Económicamente, los costos de los materiales son accesibles, y tienen buena resistencia al fuego.

Para que sea un material exitoso en los ámbitos mencionados anteriormente se debe tener en cuenta un mantenimiento adecuado para prevenir cualquier tipo de patología.

Así como tiene virtudes el hormigón armado, también tiene sus debilidades y es ahí donde se entra en la materia de las patologías de este material compuesto.

Las patologías del hormigón armado son:

-Fisuras: se producen de manera superficial en el hormigón ya sea por un exceso a la capacidad de su resistencia, mala compactación, asentamientos o cambios de temperatura provocando que entren diversos tipos de agentes agresivos los cuales precipitan las demás patologías del hormigón armado. No conllevan un riesgo a la estructura, pero sí debe ser estudiado caso a caso.

-Grietas: a diferencia de las fisuras, las grietas traspasan el hormigón armado por completo, generando con ellas problemas estructurales más serios. Estas pueden ser producidas por la retracción del hormigón que es el proceso de fraguado y endurecimiento mal controlado, cargas excesivas que generan tensión, asentamientos, cambios de temperatura, mala compactación, movimientos de suelo, y/o mal diseño de edificación.

-Con las fisuras o grietas en el hormigón armado se introduce un agente externo siendo un ataque biológico o químico, el que provoca daños en la enfierradura llamado corrosión provocando el óxido de éste, aumentando su volumen generando desconchones, fracturas y pérdidas de cohesión de la estructura en el hormigón.



Figura 5. Microfisuras en hormigón armado. Fuente:

<https://grietaspared.com/tipos-de-fisuras-en-hormigon-armado/>

- Error de diseño: estos errores están relacionados a una mala práctica en cuanto al cálculo estructural, mal dimensionado de armaduras, tipo de material utilizado, mala compactación del hormigón para eliminación del aire, etc.

### **3.2.SOLUCIONES A LAS PATOLOGÍAS**

Luego de saber el origen y definición de cada una de las patologías mediante una revisión bibliográfica, se cumple el primer objetivo específico para dar paso al segundo objetivo específico de diseñar soluciones constructivas las que abordan en conjunto las patologías que se pueden presentar en un canal de riego de hormigón armado. A continuación, se enumeran las buenas prácticas de ingeniería necesarias para obtener buenos resultados a la hora de manejar un canal.

#### **3.2.1.Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico adecuado del canal es lo más importante para asegurar la durabilidad y seguridad del proyecto, ya que un buen diseño reduce los costos de operación y mantenimiento, ayudarse con softwares para hacer simulaciones hidráulicas, para poder saber el comportamiento del canal a distintas condiciones de flujo de agua y condiciones climáticas.

Los softwares más comunes a utilizar son:

- Hcanales ®: es un programa para el diseño de canales y de estructuras hidráulicas, el cual facilita muchos de los cálculos que se requieren para el diseño de este.
- AutoCad ® Civil 3D: nos permite diseñar canales de riego mediante puntos topográficos, también crear alineaciones, perfiles longitudinales y transversales.

### **3.2.2.Gestión del agua subterránea**

Nos sirve para controlar el nivel freático cercano al nivel del suelo, evitando la subsidencia del suelo en el caso de que estuviera bajo el nivel normal, y evitando también la flotación del hormigón si este está por sobre el nivel del sello de excavaciones.

Roymer y Rafael (2023) realizaron estudios sobre la capacidad portante del suelo en relación con el nivel freático y cuando está cerca del nivel del suelo puede debilitar la capacidad portante del suelo volviendo el suelo más maleable y puede deformarse con más facilidad y provocando fallas en estructuras construidas sobre él. Y en el caso de que el nivel freático sea más profundo genera una mayor resistencia del suelo (p.17).

Una práctica efectiva de controlar el nivel freático cerca del nivel del suelo es la implementación de sistemas de drenajes.

### 3.2.3.Drenaje

Se refieren a la “eliminación del exceso de agua del suelo, se quiere igualmente significar los sobrantes superficiales como los internos. Por lo tanto, de acuerdo al lugar donde se localiza el exceso de agua, se distingue el drenaje superficial y el drenaje sub-superficial” (Grassi & Carlos, 1969, p.2). Esto ayuda con la mayoría de los problemas que se pueden presentar en un canal de riego y así no dañar su estructura.

Un sistema de drenaje evita la saturación del suelo para prevenir el volcamiento de taludes y la erosión del suelo. Cuando se infiltra agua ya sea subterránea o por climas extremos por exceso de precipitaciones, un sistema de drenaje adecuado como canales de desagüe, barbacanas, etc. Ayudan a mantener un nivel de agua adecuado evitando daños en el canal de riego de hormigón armado.

Existen varios tipos de sistemas de drenaje, especializados para cada una de las necesidades que se requieran, los cuales son:

En el drenaje sub-superficial está el drenaje francés el que sirve para controlar el nivel freático del suelo, evitando problemas de acumulación de agua. En donde se instalan tuberías perforadas enterradas en una zanja poco profunda, rodeadas por una capa de grava o material drenante y cubiertas con una capa de suelo. Por consiguiente, este drenaje sirve para el canal de riego de

hormigón, ya que, se necesita un “Sistema que alinea presiones dejando pasar el agua al canal (barbacanas con tapa) y sistema que evacue el agua a través de un tubo colector bajo el canal, hasta la depresión o quebrada” (Arumí, 2002, p.6). Esto ayuda a evitar la flotación del hormigón producida por la presión del agua subterránea.

#### **3.2.4.Mantenimiento y monitoreo regular**

Esto es una de las prácticas que debe siempre estar presente a la hora de tratar con un canal de riego, para así maximizar la eficiencia del sistema de riego y minimizar los costos de reparación a largo plazo. Por esto es que “la inspección frecuente de las juntas de las losetas y la conservación cuidadosa de los canales son operaciones fundamentales para evitar erosiones del suelo sobre el que se asientan las losetas, con los consiguientes hundimientos y deterioros del revestimiento” (Israelsen, Hansen, 1981, p.86). Esto aplica a todos los tipos de patologías referentes a la presencia de agua subterránea en un canal de riego de hormigón armado mencionadas anteriormente.

#### **3.2.5.Vegetación como aliada en la construcción**

“Las cubiertas vegetales ideadas y sembradas o plantadas debidamente desempeñan un papel importante para evitar la erosión superficial y los fallos de masa a poca profundidad” (FAO, 1990, p.177). Sobre todo, si son plantas con sistemas radiculares profundos como árboles o arbustos porque estos

ayudan a consolidar el suelo, disminuyendo el impacto de las lluvias y las corrientes de agua, también evitando el lavado de suelo y la debilitación de las estructuras como los taludes del canal de hormigón armado.

### **3.2.6.Revestimientos protectores impermeables**

Es una medida de seguridad para que el canal de hormigón pueda resistir las condiciones climáticas y a las patologías propias del hormigón armado, ya sean las fisuras, grietas, ataques biológicos y químicos que se puedan presentar.

Tipo de revestimiento y/o protector impermeable: MasterSeal de Sika ® son una línea de productos impermeabilizantes que esta formulado para detener las fugas de agua y la penetración de la humedad. Esta línea de productos sirve para proteger las juntas de dilatación, fundaciones y losas, como también para el hormigón en sí. Es un producto apto para su instalación en gestión de agua.

### **3.2.7.Protección del canal de riego**

Esto se basa en reforzar la estructura ya construida donde se puede incluir diques temporales o permanentes que ayudan a proteger los canales de las corrientes de agua inesperadas, de inundaciones que podrían dañar o erosionar las estructuras, especialmente cuando el clima está cambiado por

esto es que “las estructuras de protección son útiles en el conjunto de medidas para prevenir este riesgo natural” (Vinet, F., 2020, p.235). Es por esto que la construcción de diques o muros de contención agrega ese porcentaje extra de margen de seguridad para el canal de riego.

### 3.3.DETALLES CONSTRUCTIVOS

Cuando se habla de detalles constructivos se refiere a plasmar las posibles soluciones mencionadas anteriormente. Los canales de riego de hormigón armado son canales mayoritariamente con un ángulo de inclinación del muro de noventa grados, el diseño de la sección canal tipo depende estrictamente del diseño hidráulico a elaborar, siendo **a** el ancho (min. 0.5 m) y **b** la altura (min. 0.5 m) del canal, como se muestra en la Figura 1. (Medidas estándar según Manual de carreteras, Vol.4).

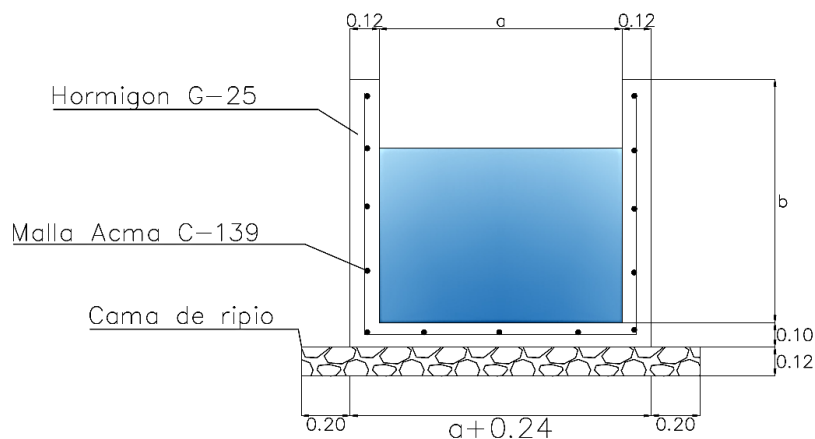


Figura 6. Detalle de sección canal tipo (en m). Fuente: elaboración propia.

Malla acma C-139: es una malla tipo stock sin economía de borde que utiliza acero AT56-50H con sección acero de 1,39 cm<sup>2</sup>/m. (véase Figura A2 en el anexo para ver especificaciones).

Hormigón G-25: la resistencia a la compresión del hormigón se denomina por 25 (25 MPa).

### **3.3.1.Drenaje en el canal**

#### **Drenaje subsuperficial**

- Subdren

Sección tipo de un subren para un canal de riego de hormigón armado, el que ayuda a controlar el nivel freático somero, el cual evita problemas de acumulación de agua. Donde la variable H depende de la altura del nivel freático, a es igual al ancho del canal y b su altura, D diámetro del tubo. (Las medidas de las variables dependen de cada proyecto).

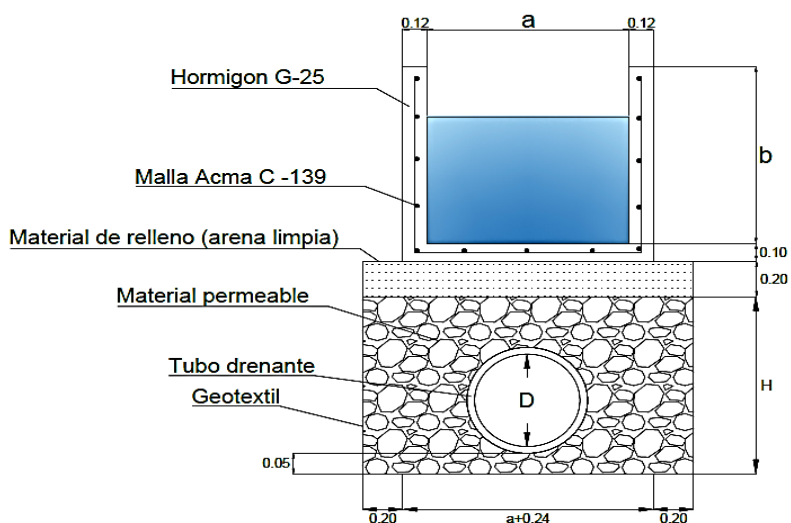


Figura 7. Sección tipo subdren de grava para canal revestido de hormigón armado (cotas en m). Fuente: elaboración propia basado en manual de carreteras volumen 4.

Tubo drenante: Es un tubo perforado, el cual permite el ingreso del agua subterránea y conduciendo el exceso de esta. Existen varios tipos de tubos y diámetros según su caudal y pendiente a evacuar. (Véase Figura A3. en el anexo).

Geotextil: ayuda con la evacuación de agua través del material y en drenaje se emplea para dirigir el agua fuera de las estructuras, estan fabricados por fibras de poliester, polipropileno o ambas. (Véase Figura A4. en el anexo).

Material de relleno: evita la acumulación de agua mejorando la estabilidad del canal, puede ser grava o arena gruesa.

Material permeable: está constituido por gravas naturales limpias, sin aristas vivas, libre de material fino, materia orgánica, etc. La granulometría del material deberá estar en 80 y 10 mm para relleno de subdrenes.

- Drenaje de barbacanas:

El drenaje de barbacanas es para aliviar la presión de la acumulación de agua por extensas precipitaciones en los muros del hormigón y también ayuda evitando la saturación del suelo si el nivel freático es muy alto con barbacanas en la losa del canal. Las variables de la sección tipo son: **a** es igual al ancho del canal y **b** su altura, **D** diámetro del tubo. (Las medidas de las variables dependen de cada proyecto hidráulico).

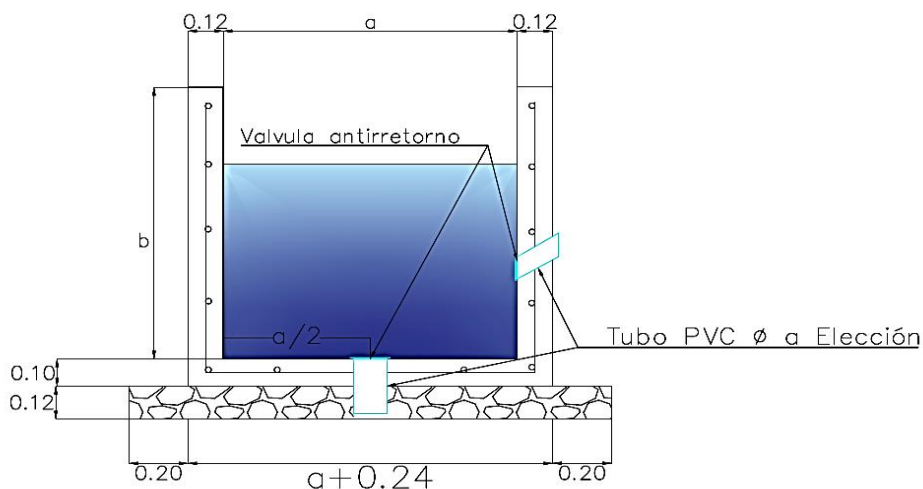


Figura 8. Sección tipo drenaje de barbacanas en losa y en muro (cotas en m).

Fuente: elaboración propia.

Valvula antiretorno: es una valvula que se posiciona en la losa y/o muros del canal de riego, cuya funcion es dejar ingresar el agua y evitar presiones de

agua que pueden causar daños o fallas estructurales. (Véase Figura A5. para ejemplo de valvula antirretorno)

### 3.3.2. Protección del canal

#### Revestimientos protectores impermeables

Sección tipo canal con revestimiento protector que consiste en aplicar los productos Sika ® mencionados anteriormente, dependiendo si se quiere impermeabilizar, reparar o reforzar el canal.

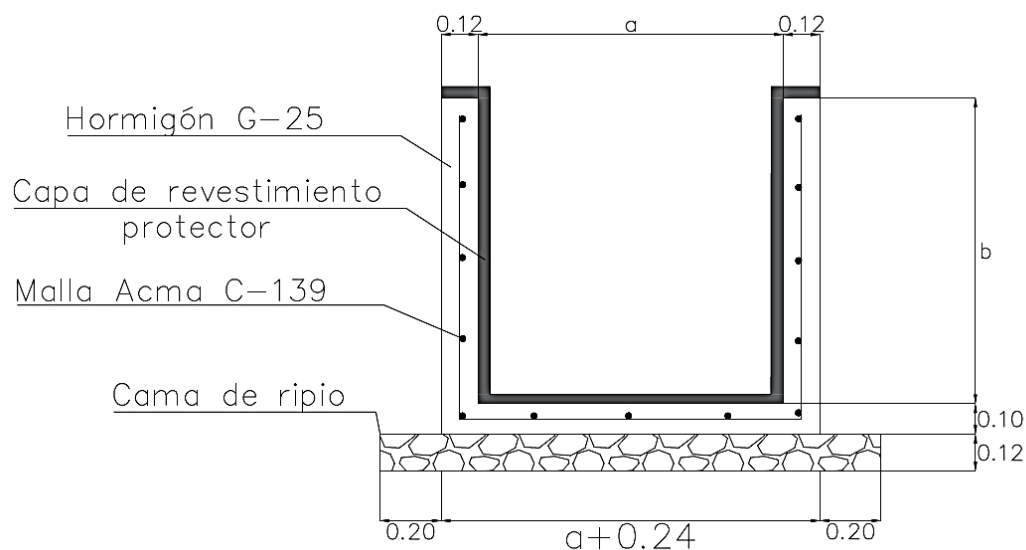


Figura 9. Sección tipo canal con revestimiento protector impermeable (cotas en m). Fuente: elaboración propia.

## Diques

Sección tipo de diques ya sea provisorio o permanente para su protección y dar seguridad extra tras corrientes de aguas inesperadas o inundaciones, reduciendo la velocidad del agua lo que también nos ayuda a minimizar la erosión del canal y proteger su estructura. La variable **H** de Figura 11. Depende de la recopilación de datos hidrológicos, saber cuál es el volumen máximo de agua a contener más el margen de seguridad necesario sujeto al proyecto a realizar.

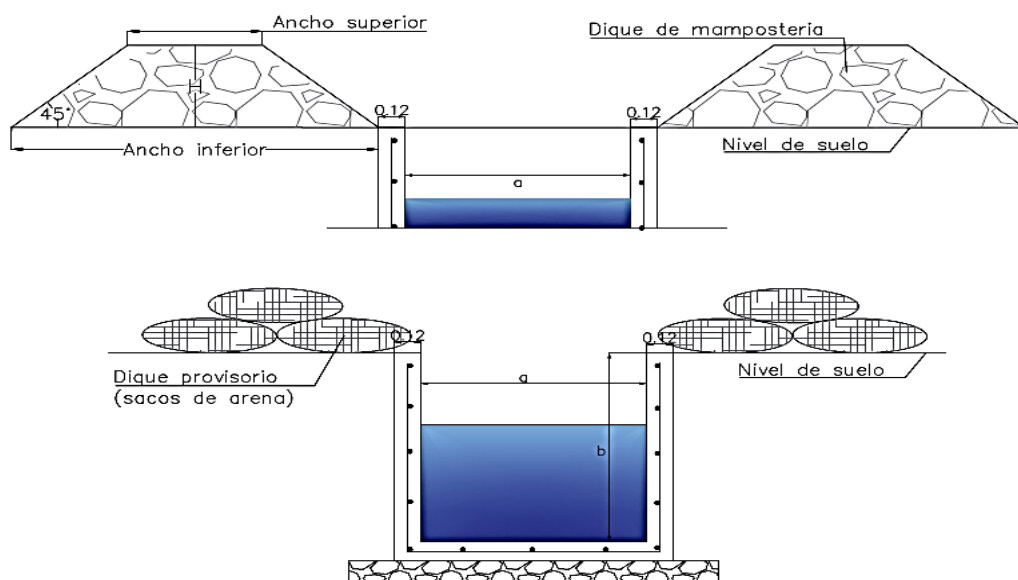


Figura 10. Sección tipo de dique de mampostería hidráulica y dique provisorio para un canal de riego (cotas en m). Fuente: elaboración propia.

### 3.4. EVALUACION DE COSTOS

Para calcular los costos que conllevan las soluciones constructivas se le debe dar valores a las variables presentadas en Figura 2. En este caso las medidas del canal son las plasmadas en la Figura 7. Con un largo de tramo de diez metros.

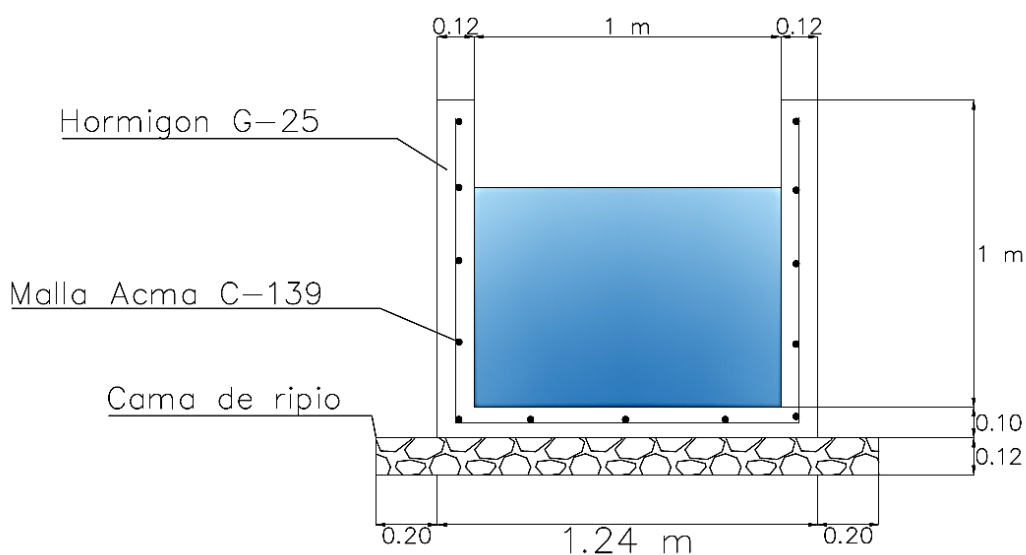


Figura 11. Sección tipo canal con valores dados (cotas en m). Fuente: elaboración propia.

Dados los valores a las variables del canal de hormigón armado se procede a calcular las cubicaciones correspondientes al canal y sus moldajes, como también a las soluciones para cada patología más recurrente las cuales son; subdren, drenaje por barbacanas, diques provisionarios y de mampostería, y el revestimiento protector. (Véase Figura A7. en el anexo). Luego de la cubicación se calculó el análisis de presupuesto unitario para cada ítem

(Véase Figura A8. en el anexo), por último se calculó los costos totales para cada ítem presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Costo total para cada ítem en un largo de tramo de canal de 10m, análisis de presupuesto unitario (APU) en pesos chilenos (CLP), precio total (P.T) en pesos chilenos y en unidad de fomento chilena (UF).

Ítem	Largo tramo	Unidad	APU (CLP)	P.T (CLP)	P.T (UF)
Canal de hormigón	10	m	178924,3	1789243,4	48,3
Moldajes	10	m	19222,3	192223,2	5,2
Subdren	10	m	52022,3	520222,9	14,0
Dique mampostería	10	m	298218,3	2982183,0	80,5
Impermeabilizar	10	m	583676,3	5836762,7	157,6
Barbacanas (losa)	10	m	3833,0	7666,0	0,2
Barbacanas (muro)	10	m	3797,3	7594,5	0,2
Dique provisorio	10	m	15260,0	152600,0	4,1

(\*) UF al 08 de agosto 2024 es igual a \$37.569 CLP.

#### **4.CONCLUSIONES**

Es importante destacar que se deben realizar buenas prácticas de ingeniería teniendo un plan específico para afrontar cada una de las patologías que se puedan presentar.

En cuanto a factores externos como las aguas subterráneas someras, se debe hacer un estudio hidrológico del suelo, para poder gestionar el nivel freático cercano al suelo de manera efectiva mediante sistemas de drenaje y evitar patologías tales como; la flotación, infiltración de agua, infraestructura, volcamiento de taludes, entre otros.

Por otro lado, para el suelo se debe hacer un estudio de mecánica de suelos en donde se quiera construir el canal de riego, más aún en el momento de la construcción donde se exige ser exhaustivos en los estudios para determinar el tipo de compactación y densidad necesita el suelo, así como los cálculos del diseño hidráulico del canal de hormigón armado.

Para la construcción en situ del canal de riego de hormigón, la calidad de los materiales y la capacitación de la mano de obra son esenciales para evitar las patologías típicas del hormigón como las fisuras, grietas y ataques químicos. Sin olvidar que también se pueden producir por los factores externos del entorno.

Parte esencial de una buena práctica de ingeniería en el diseño y construcción es contar con los profesionales especializados en cada una de las áreas mencionadas, asegurando que el proyecto se ejecute con el mayor rigor técnico, al igual que al momento de evaluar los costos de las soluciones, las cuales pueden tener un costo inicial elevado, pero son cruciales para garantizar la durabilidad, seguridad y eficiencia del canal de riego de hormigón armado y prevenir daños mayores con el tiempo.

## 5.BIBLIOGRAFÍA

Agua: Historia, tecnología y futuro. (2023). (n.p.): Guadalmazán.

Aguas subterráneas, paisaje y vida: acuíferos de España. (2002). España: Instituto Geológico y Minero de España.

Almorox Alonso, J., López Bermúdez, F., Rafaelli, S. (2011). La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. España: Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia.

Arumí, José L. (2002). Concepto de diseño estructural de obras de riego, código 017-05, Comisión nacional de riego, biblioteca virtual Chile riego.

Buzolic B, Arumí JL, Jimenez J.(2021). ¿Cuánto cuesta la gestión del agua? El caso del mercado del agua en el río Ñuble del centro-sur de Chile. Agua ,13(3),258. <https://doi.org/10.3390/w13030258>

Cambefort, H. (1975). Geotecnia del ingeniero: reconocimiento de suelos. España: Editores Técnicos Asociados.

Crespo Villalaz, C. (2007). Mecánica de suelos y cimentaciones. España: Limusa.

Cubero, José I. (2018). Historia General de la Agricultura De los pueblos nómadas a la biotecnología. Córdoba: Almuzara.

Dirección de vialidad, Gobierno de Chile (2023). Manual de carreteras (Volumen 4). Planos de obras tipo.

Dirección de vialidad, Gobierno de Chile (2023). Manual de carreteras (Volumen 5). Especificaciones técnicas generales de construcción.

El agua en la antigua Mesopotamia. (2014) Publicación 001, Madrid: Canaleduca. <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/pdf/El-agua-en-la-Antigua-Mesopotamia.pdf>

Elguero, A. M. (2004). Patologías elementales. Argentina: Nobuko.

FAO. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura. Roma.

Festi, L., Brugger, H., Zafren, K. (2022). Medicina de urgencias en montaña. España: Grupo Asis.

Gómez, S. (2020). Aguas subterráneas en zonas de montaña y trazadores ambientales. Colombia: Ediciones UIS.

González Caballero, M. (2004). El terreno. España: Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.

Grassi, Carlos J. (1969). Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Manual de drenaje agrícola. CIDIAT. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/14406>

Herráez Garrido, F., Moreno Vega, A. (2019). Ingeniería de vías agroforestales. España: Ediciones Mundi-Prensa.

Iriondo, M. H. (2007). Introducción a la Geología. Argentina: Brujas.

Israelsen, O. W., Hansen, V. E. (1981). Principios y aplicaciones del riego. España: Reverté.

Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles. (1990). Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Medina Sánchez, E. (2007). Construcción de la Estructura de Hormigón Armado.(2E). España: Delta.

Metodología formulación y evaluación de proyectos de riego (2016). Ministerio de Desarrollo Social. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://observatorioplanning.cep.al.org/sites/default/files/methodology/metodologi%C3%81a%20riego%202016.pdf>

Miceli, A. (2021). Arquitectura sustentable: Más que una nueva tendencia, una necesidad. Argentina: Diseño.

Pérez Porto, J., Gardey, A. (17 de febrero de 2020). Meteorización - Qué es, definición y concepto. Definicion.de. Última actualización el 19 de septiembre de 2022. Recuperado el 14 de abril de 2023 de <https://definicion.de/meteorizacion/>

Programme, U. W. W. A. (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático. UNESCO Publishing.

Solminihaq, H. Thenoux, G., (septiembre 1998). Procesos y técnicas de construcción. (2E). Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Roymer R.F., Reiler V.G (2023). Evaluación de la capacidad portante del suelo en relación al nivel freático con fines de cimentación. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/428>

Usón Murillo, A., Boixadera Llobet, J., Enrique Martín, A. (2010). Tecnología de suelos: estudio de casos. España: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Vinet, F. (2020). Inundaciones 1. España: ISTE Editions Limited.

## 6.ANEXOS

### CUESTIONARIO

#### Problemas en canales de riego de hormigón armado

1. ¿Lugar de trabajo: Organización, Comuna (laboral), Cargo, experiencia en canales?
  2. ¿Cuál es el propósito principal de los canales de riego de hormigón armado que administra?
  3. ¿Conoce los principales problemas que pueden afectar a los canales de riego? mencione algunos de los problemas más recurrentes.
  4. ¿Ud. cree que el clima o desastres naturales pueden afectar un canal de riego?
  5. ¿Qué tipo de inspecciones realiza regularmente en los canales de riego?
  6. ¿Ha enfrentado problemas de obstrucciones causadas por vegetación en los canales de riego de hormigón armado?
  7. ¿Sabe si hay presencia de aguas subterráneas donde está construido el canal de riego?
  8. ¿Qué medidas de prevención de problemas considera más efectivas?
  9. ¿Ha tenido que reparar o rehabilitar canales de riego dañados?
  10. ¿Qué técnicas ha utilizado?
  11. ¿Tiene alguna recomendación para mejorar el manejo de problemas constructivos en canales de riego de hormigón armado?
- 
- ¿Ha participado en la elaboración de proyectos para CNR?  
Si la respuesta es sí:
  - ¿Cuáles son las razones más comunes por el que los proyectos de canales de riego son rechazados?
  - ¿Cuáles son los criterios claves de evaluación de la CNR?
  - ¿Valoran el impacto social de un proyecto en la evaluación de la CNR?

Figura A1. Cuestionario aplicado a los expertos. Fuente: elaboración propia.

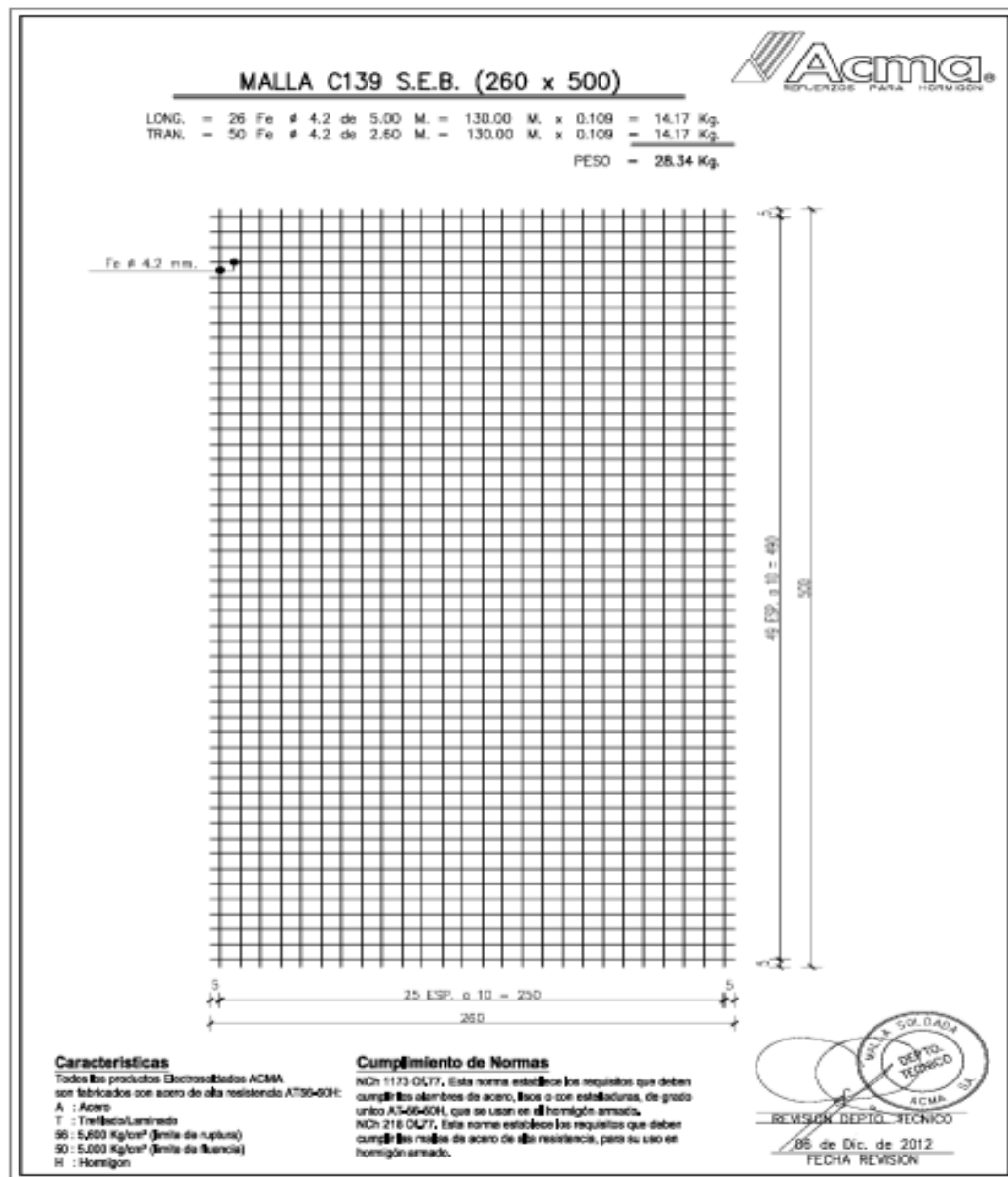


Figura A2. Ficha de especificaciones malla acma c-139. Fuente:

<https://www.acma.cl>

CAPACIDAD DE CONDUCCION TUBO PLASTICO l/s						
DIAMETRO NOMINAL (mm)	PENDIENTE %					SUPERFICIE FILTRANTE (cm <sup>2</sup> /m)
	0,5	1,0	1,5	1,8	2,0	
50	0,7	1,0	1,3	1,4	1,5	31,4
63	1,4	1,9	2,4	2,6	2,8	39,6
75	2,3	3,3	3,9	4,4	4,6	47,1
90	3,8	5,4	6,6	7,3	7,7	56,5
110	6,6	9,3	11,0	12,4	13,1	69,0
150	16,9	17,2	23,6	31,9	30,5	94,2
200	32,4	45,8	56,0	61,5	64,8	125,6
250	58,9	83,3	102,0	112,0	117,5	157,0
300	95,9	135,7	166,0	182,0	192,0	188,4

Figura A3. Capacidad de conducción tubo drenante de plástico en L/s. Fuente: Manual de carreteras volumen 4 (p. 4.107.002).

#### REQUISITOS DE LOS GEOTEXTILES PARA DRENAJE

ENSAYE	NORMA ASTM	UNIDAD	REQUISITOS		
			$\epsilon_r < 50\%$	$\epsilon_r > 50\%$	
Resistencia A Tracción Longitudinal	D 4632	N	800	500	
Costurado	D 4632	N	720	450	
Punzonamiento (1)	D 4833	N	300	180	
Corte Trapezoidal	D 4533	N	300	180	
Resistencia al Reventado	D 3786	kPa	2.100	950	
% que pasa tamiz 0,08 mm					
			< 15%	15% a 50%	≥ 50%
Permitividad	D 4491	s <sup>-1</sup>	0,5	0,2	0,1
Abertura Aparente de Poros (AOS)	D 4751	mm	0,43	0,25	0,22 (2)
Estabilidad UV, 500 h	D 4355	%	50	50	50

(1): Resistencia Perpendicular

(2): Para suelos cohesivos con índice de plasticidad mayor a 7%, la Abertura Aparente deberá ser la que indique el diseño.

Nota 1: Los valores indicados corresponden al valor mínimo promedio de rollo (V.P.M.), con excepción de los valores AOS que representan al valor máximo.

Nota 2: La aceptación de los geotextiles será según lo establecido en la norma ASTM D 4759.

Figura A4. Requisitos de los geotextiles para drenaje. Fuente: Manual de carreteras volumen 5.

Ejemplo de una válvula antirretorno:



Figura A5. Ejemplo de una válvula antirretorno para utilizar en las barbacanas del canal de riego.

G E O M E T R Í A (cm)												
	H = 100			H = 125			H = 150			H = 175		
	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1
a1	30	30	50	30	30	65	30	40	90	30	50	110
a	70	70	90	80	80	115	90	100	150	100	120	180
b	90	90	110	100	100	135	110	120	170	120	140	200
d	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
V O L U M E N (m <sup>3</sup> /m)												
	0,96	0,96	1,34	1,19	1,19	1,94	1,44	1,68	2,88	1,72	2,25	3,84

G E O M E T R Í A (cm)												
	H = 200			H = 225			H = 250			H = 300		
	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1	HORIZONTAL	TALUD 2:1	TALUD 1,5:1
a1	30	55	120	30	60	135	30	70	150	35	80	185
a	110	135	200	120	150	225	130	170	250	155	200	305
b	130	155	220	140	170	245	150	190	270	175	220	325
d	40	40	50	40	40	60	40	40	65	40	40	75
V O L U M E N (m <sup>3</sup> /m)												
	2,02	2,75	4,85	2,35	3,29	6,15	2,70	4,06	7,46	3,48	6,21	10,66

Figura A6. Geometría de variables escogida para cubicación muro de mampostería en Figura 5. Fuente: Manual de carreteras volumen 4 (p. 4.403.001).



Figura A7. Cubicaciones para la evaluación de costos.



Figura A8. Análisis de presupuestos unitarios.