



“ Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz ”

Materiales de revestimiento en obras hidráulicas

Monografía

FRANCISCO SEBASTIÁN ORTEGA MESA

1010070833

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de ingeniería civil

Pamplona, Norte de Santander

MES del 2024



## MATERIALES DE REVESTIMIENTO EN OBRAS HIDRÁULICAS

### Monografía

FRANCISCO SEBASTIÁN ORTEGA MESA

1010070833

TUTOR:

INGENIERO CIVIL: LUIS FERNEL VIRACACHA QUINTERO

MAGÍSTER EN INGENIERIA AMBIENTAL

### Monografía

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de ingeniería civil

Pamplona, Norte de Santander



14.09.2024

## 1. Tabla de contenido

|       |                                                                          |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.    | Resumen .....                                                            | 6   |
| 3.    | Introducción .....                                                       | 9   |
| 4.    | Marco Teórico .....                                                      | 10  |
| 4.1   | Capítulo 1 .....                                                         | 11  |
| 4.1.1 | Obras Hidráulicas .....                                                  | 11  |
| 4.1.2 | Obras de Almacenamiento: .....                                           | 14  |
| 4.1.3 | Obras de Derivación y Conducción .....                                   | 23  |
| 4.1.4 | Obras de Distribución .....                                              | 37  |
| 4.1.5 | Obras de Protección Contra Inundaciones .....                            | 45  |
| 4.1.6 | Obras de Control de Caudales .....                                       | 58  |
| 4.1.7 | Obras de Evacuación o Desagüe .....                                      | 65  |
| 4.1.8 | Obras de Aprovechamiento Energético .....                                | 75  |
| 4.1.9 | Obras Marítimas y Fluviales .....                                        | 80  |
| 4.2   | Capítulo 2 .....                                                         | 87  |
| 4.2.1 | Materiales de Revestimiento .....                                        | 87  |
| 4.3   | Capítulo 3 .....                                                         | 100 |
| 4.3.1 | Clasificación De Los Materiales De Revestimiento En Obras Hidráulicas .. | 100 |
| 4.3.2 | Materiales Naturales .....                                               | 101 |
| 4.3.3 | Materiales Sintéticos y Poliméricos .....                                | 108 |



|       |                                                                                                                    |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.4 | Materiales Artificiales .....                                                                                      | 116 |
| 4.3.5 | Materiales Bituminoso .....                                                                                        | 124 |
| 4.3.6 | Materiales Sostenibles .....                                                                                       | 129 |
| 4.4   | Capítulo 4 .....                                                                                                   | 136 |
| 4.4.1 | Propiedades Físicas y Mecánicas De Los Materiales de Revestimiento En Obras Hidráulicas .....                      | 136 |
| 4.4.2 | Propiedades Físicas .....                                                                                          | 137 |
| 4.4.3 | Propiedades Mecánicas .....                                                                                        | 160 |
| 4.5   | Capítulo 5 .....                                                                                                   | 188 |
| 4.5.1 | Normativas y Estándares Aplicables en la Selección y Uso de Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas ..... | 189 |
| 4.5.2 | Normativas y Estándares Globales: .....                                                                            | 190 |
| 4.5.3 | Normativas Nacionales .....                                                                                        | 193 |
| 4.5.4 | Sustentabilidad y Normas Ambientales .....                                                                         | 195 |
| 4.5.5 | Normas de Seguridad y Resistencia .....                                                                            | 197 |
| 4.6   | Capítulo 6: Revisión de Casos de Estudio (Análisis de Proyectos Reales) .....                                      | 200 |
| 4.6.1 | Caso 1: Presa Hoover, Estados Unidos .....                                                                         | 201 |
| 4.6.2 | Caso 2: Canal de Suez, Egipto .....                                                                                | 202 |
| 4.6.3 | Caso 3: Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Riego en el Valle de San Joaquín, California .....               | 204 |
| 4.6.4 | Caso 4: Túneles de Metro en Londres, Reino Unido .....                                                             | 205 |
| 4.6.5 | Caso 5: Presa Itaipú, Paraguay/Brasil .....                                                                        | 206 |



|       |                                                                                                                    |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6.6 | Caso 6: Canal de Panamá, Panamá .....                                                                              | 208 |
| 4.6.7 | Caso 7: Presa de las Tres Gargantas, China .....                                                                   | 210 |
| 4.6.8 | Caso 8: Sistema Hidráulico del Río Támesis, Reino Unido .....                                                      | 213 |
| 4.7   | Capítulo 7: Comparación de Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas                                        | 218 |
| 4.7.1 | Concreto de Alto Rendimiento .....                                                                                 | 219 |
| 4.7.2 | Geomembranas .....                                                                                                 | 220 |
| 4.7.3 | Revestimientos Metálicos .....                                                                                     | 221 |
| 4.7.4 | Geosintéticos .....                                                                                                | 222 |
| 4.7.5 | Materiales Naturales (Piedras, Gravas) .....                                                                       | 224 |
| 4.8   | Tendencias Actuales: Innovaciones y Nuevos Desarrollos en Materiales de Revestimiento para Obras Hidráulicas ..... | 225 |
| 4.8.1 | Nanotecnología Aplicada a Materiales de Revestimiento .....                                                        | 225 |
| 4.8.2 | Materiales de Revestimiento Sostenibles .....                                                                      | 226 |
| 4.8.3 | Geocompuestos Avanzados .....                                                                                      | 227 |
| 4.8.4 | Revestimientos Inteligentes .....                                                                                  | 228 |
| 4.8.5 | Aplicación de Tecnologías de Fabricación Aditiva .....                                                             | 229 |
| 4.8.6 | Desarrollo de Membranas Multifuncionales .....                                                                     | 230 |
| 5.    | Discusión .....                                                                                                    | 231 |
| 5.1   | Reflexión sobre lo que los Resultados Indican en el Contexto de la Ingeniería Civil                                | 231 |
| 6.    | Conclusiones .....                                                                                                 | 248 |



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....252

### 2. Resumen

La presente monografía aborda una investigación profunda sobre los materiales de revestimiento empleados en obras hidráulicas, analizando sus propiedades físicas, mecánicas, y su desempeño en diversas estructuras clave como presas, canales, tuberías, y sistemas de drenaje. Las obras hidráulicas requieren de materiales de revestimiento que garanticen la protección de las superficies expuestas a los flujos de agua, evitando problemas como la erosión, la abrasión, y la filtración, que podrían comprometer la durabilidad y la estabilidad estructural de las infraestructuras.

A lo largo del estudio, se ofrece una clasificación detallada de los materiales de revestimiento en tres grandes categorías: materiales naturales (como piedras y gravas), materiales sintéticos (como geomembranas y geotextiles), y materiales compuestos o artificiales (como concretos modificados y revestimientos poliméricos). Cada categoría es evaluada en función de su resistencia, impermeabilidad, durabilidad en condiciones ambientales extremas y su impacto ambiental, con el objetivo de proporcionar una visión integral sobre su aplicabilidad en infraestructuras hidráulicas.

El análisis también se centra en las innovaciones más recientes dentro del campo de los materiales, incluyendo el uso de concretos de alto rendimiento, geosintéticos avanzados y la nanotecnología aplicada a la mejora de las propiedades mecánicas y físicas de estos materiales. Se destacan los avances en la utilización de geomembranas, que proporcionan una barrera impermeable en estructuras como presas y canales, y los geosintéticos, que han demostrado ser efectivos en la protección contra la erosión y en la mejora de la estabilidad de los suelos.



Además, la monografía presenta un análisis comparativo entre los diferentes tipos de materiales, basado en criterios como la durabilidad, el costo, la facilidad de instalación y el impacto ambiental. Este análisis revela las ventajas y desventajas de cada material en función de las condiciones operativas, lo que permite tomar decisiones informadas sobre la selección de los revestimientos más adecuados para cada tipo de obra hidráulica.

Un aspecto clave de este estudio es la inclusión de normativas y estándares globales, como las normas ISO y ASTM, que regulan la selección y uso de materiales de revestimiento en infraestructuras hidráulicas. Estas normativas son esenciales para garantizar que los materiales empleados cumplan con los requisitos de seguridad, resistencia y sostenibilidad necesarios para prolongar la vida útil de las obras.

La monografía también se enriquece con la revisión de casos de estudio de proyectos hidráulicos reales, como la Presa Hoover en Estados Unidos, el Canal de Suez en Egipto, y el Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Riego en el Valle de San Joaquín, en California. Estos casos prácticos ilustran la importancia de una correcta selección de materiales de revestimiento, mostrando cómo las soluciones innovadoras, como los revestimientos especiales y las geomembranas, han permitido mejorar la resistencia a la erosión, reducir la filtración y optimizar la eficiencia operativa de las infraestructuras.

Por otro lado, se hace énfasis en las tendencias actuales y futuras en el desarrollo de materiales más sostenibles y ecológicos, que buscan minimizar el impacto ambiental de las obras hidráulicas. En este sentido, se discuten innovaciones como la aplicación de nanotecnología en concretos y geosintéticos, el desarrollo de geocompuestos avanzados, y la creación de revestimientos inteligentes que se adaptan a las condiciones del entorno para maximizar su eficiencia y durabilidad.

En cuanto a las conclusiones, se subraya que la selección adecuada de los materiales de revestimiento es crucial para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las obras hidráulicas a



largo plazo. Los resultados del estudio sugieren que es fundamental seguir investigando en el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías que permitan mejorar las propiedades mecánicas, físicas y ambientales de los revestimientos. Asimismo, se plantea la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles en la selección y uso de estos materiales, con miras a reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en la construcción y operación de infraestructuras hidráulicas.

El trabajo tiene como objetivo proporcionar una guía comprensiva para ingenieros y profesionales del sector, con el fin de facilitar la toma de decisiones informadas respecto a la selección de materiales de revestimiento en el ámbito de las obras hidráulicas, teniendo en cuenta tanto los avances tecnológicos como las exigencias de sostenibilidad y eficiencia en la ingeniería moderna.



### 3. Introducción

Las obras hidráulicas son infraestructuras fundamentales para la gestión, control y aprovechamiento del agua en diversas formas, tales como ríos, lagos, mares o aguas subterráneas. Estas obras, que incluyen presas, canales, tuberías y sistemas de drenaje, requieren revestimientos especializados que aseguren su funcionalidad a largo plazo, protegiéndolas de factores como la erosión, la abrasión y la filtración, que podrían comprometer su integridad estructural. En este contexto, la selección adecuada de los materiales de revestimiento es crítica, especialmente en un escenario en el que las exigencias de durabilidad, sostenibilidad y cumplimiento de normas técnicas son cada vez más estrictas.

El objetivo principal de esta monografía es investigar y analizar en profundidad los materiales de revestimiento utilizados en las obras hidráulicas, abordando tanto sus propiedades físicas y mecánicas como su aplicabilidad en diferentes tipos de infraestructuras. Además, se pretende clasificar los materiales en naturales, sintéticos y compuestos, evaluando sus ventajas y desventajas bajo condiciones operativas diversas. Uno de los objetivos clave de este estudio es analizar la importancia de las normativas y estándares internacionales y nacionales, como las normas ISO y ASTM, en la selección de estos materiales, garantizando así que las obras hidráulicas cumplan con los requisitos de seguridad, resistencia y sostenibilidad.

La monografía se basa en una metodología de revisión exhaustiva de la literatura científica, normativa y técnica relacionada con los materiales de revestimiento en infraestructuras hidráulicas. Esta revisión incluye artículos académicos, manuales de ingeniería, normas internacionales y estudios de casos emblemáticos que ejemplifican la aplicación de estos materiales en proyectos de gran envergadura. A través del análisis de proyectos como la Presa Hoover en Estados Unidos y el Canal de Suez en Egipto, se examinan las soluciones técnicas empleadas en la selección de revestimientos, así como los desafíos enfrentados durante su implementación. Además, se lleva a cabo un análisis comparativo de los materiales de



revestimiento, evaluándolos bajo criterios como la durabilidad, la resistencia a la erosión, el coste y su impacto ambiental.

La investigación también se complementa con la identificación de las tendencias actuales en el uso de materiales más sostenibles e innovadores, como la nanotecnología aplicada a concretos y geosintéticos, así como el desarrollo de revestimientos inteligentes y membranas multifuncionales. Estos avances ofrecen soluciones prometedoras para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las infraestructuras hidráulicas en un contexto cada vez más exigente en términos ambientales.

#### 4. Marco Teórico

En el diseño y construcción de obras hidráulicas, como presas, canales y sistemas de tuberías, no solo es crucial la ingeniería de la estructura misma, sino también los materiales que protegen dichas infraestructuras. Estos revestimientos cumplen la función de preservar la integridad de las estructuras hidráulicas, evitando problemas de filtración, erosión y abrasión que pueden comprometer su durabilidad y eficiencia a lo largo del tiempo. Si bien el diseño de una obra hidráulica se enfoca en la correcta gestión de los recursos hídricos, la selección adecuada de los materiales de revestimiento es esencial para garantizar que estas obras se mantengan operativas frente a las demandas ambientales y el paso de los años.

Los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas juegan un papel fundamental al proporcionar una capa de protección contra los efectos directos del agua y otras condiciones adversas. Estos materiales no solo permiten que las estructuras soporten grandes presiones y flujos constantes, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y reducción de costos de mantenimiento. Por ello, el análisis y selección de materiales de revestimiento debe considerar no solo sus propiedades técnicas, como la resistencia y la impermeabilidad, sino también su impacto ambiental y su capacidad de adaptarse a las condiciones específicas de cada proyecto hidráulico.



## 4.1 Capítulo 1

El presente capítulo aborda las obras hidráulicas, estructuras fundamentales en la gestión y control del agua para diversos fines, como el abastecimiento, la generación de energía, el transporte y la protección de áreas costeras. Estas infraestructuras, que incluyen presas, canales, acueductos, rompeolas y sistemas de drenaje, son clave para garantizar la seguridad y sostenibilidad del entorno construido. En el contexto de esta monografía, es crucial entender las particularidades de cada obra hidráulica, ya que su diseño y funcionamiento dependen en gran medida de los materiales de revestimiento utilizados. Estos materiales protegen las superficies expuestas al contacto constante con el agua, preservando su integridad estructural y funcional. Por tanto, este capítulo se enfoca en describir los principales tipos de obras hidráulicas, destacando su relevancia para el uso eficiente y seguro de los recursos hídricos, sentando así las bases para analizar la importancia de los materiales de revestimiento en estas estructuras.

### 4.1.1 Obras Hidráulicas

Una obra hidráulica es una estructura diseñada y construida con el objetivo de controlar, manejar o aprovechar el agua en sus diversas formas, como ríos, lagos, mares o aguas subterráneas. Estas obras son de vital importancia para la gestión eficiente de los recursos hídricos, siendo un pilar fundamental en el desarrollo de la ingeniería civil y la hidráulica. Su propósito es asegurar la disponibilidad, calidad y control del agua, lo que resulta esencial para múltiples actividades humanas, como el consumo de agua potable, el riego agrícola, la generación de energía hidroeléctrica, la navegación, la protección contra inundaciones y la conservación del medio ambiente.

El manejo del agua ha sido una preocupación fundamental para las civilizaciones desde tiempos antiguos, cuando ya se construían acueductos y canales para distribuir el agua hacia zonas agrícolas o poblaciones. En la actualidad, las obras hidráulicas abarcan una vasta variedad de estructuras, desde presas que almacenan y regulan grandes volúmenes de agua hasta sistemas de drenaje que evitan la acumulación de agua en zonas urbanas y rurales. Estas infraestructuras



están diseñadas para interactuar con el ciclo natural del agua, transformándolo según las necesidades humanas y medioambientales. Una obra hidráulica tiene la capacidad de modificar el comportamiento del agua, ya sea para almacenarla durante los periodos de abundancia o para distribuirla de manera controlada en momentos de escasez. Esto se logra a través de una combinación de técnicas de ingeniería que permiten capturar el agua, almacenarla en embalses o presas, transportarla a través de canales o tuberías, y finalmente distribuirla para diversos usos, como el abastecimiento de agua potable o el riego agrícola.

El diseño y construcción de estas infraestructuras requiere un conocimiento profundo no solo de la ingeniería, sino también de las características geológicas, climatológicas y ecológicas del entorno donde se implementan. Un mal manejo del agua puede tener consecuencias graves, como la erosión del terreno, la pérdida de cultivos, la contaminación de cuerpos de agua, o incluso desastres naturales como inundaciones. Por esta razón, las obras hidráulicas no solo están diseñadas para aprovechar el recurso, sino también para proteger las áreas circundantes y mitigar los efectos adversos que puedan derivarse del flujo descontrolado de agua. Además de sus fines utilitarios, las obras hidráulicas también desempeñan un papel crucial en la preservación y restauración del medio ambiente. En muchos casos, permiten mantener o restaurar ecosistemas acuáticos, ya que regulan el flujo de los ríos y cuerpos de agua. De hecho, estas infraestructuras se diseñan cada vez más con una visión de sostenibilidad, buscando minimizar el impacto ambiental y garantizar la disponibilidad de agua para las generaciones futuras. (Feijoó, 2015)

En términos técnicos, las obras hidráulicas emplean una amplia gama de materiales y métodos de construcción. Dependiendo del tipo de obra, pueden utilizarse hormigón, acero, tierra o roca. Las presas, por ejemplo, pueden ser de gravedad, de arco o de materiales sueltos, y requieren un diseño cuidadoso para soportar la presión del agua almacenada y garantizar la estabilidad estructural a largo plazo. En cuanto a las redes de abastecimiento, estas incluyen tuberías, canales y estaciones de bombeo que transportan el agua desde su fuente hasta los puntos de consumo, ya sea para uso doméstico, agrícola o industrial. (Peralta Moreno, 2019)



Una de las mayores contribuciones de las obras hidráulicas a la humanidad es su papel en el abastecimiento de agua potable. En las zonas urbanas, estas obras son esenciales para transportar el agua desde las fuentes naturales (ríos, lagos, embalses) hasta las plantas de tratamiento, donde es purificada antes de ser distribuida a la población. Sin estas infraestructuras, la disponibilidad de agua limpia y segura sería un desafío mayor, lo que afectaría gravemente la salud pública y el desarrollo social y económico. Otra función clave es la generación de energía. Las centrales hidroeléctricas son un tipo de obra hidráulica que aprovecha la fuerza del agua en movimiento para generar electricidad. Estas plantas suelen estar asociadas a grandes presas que almacenan agua en altura, liberándola luego de manera controlada a través de turbinas para producir energía. La energía hidroeléctrica es una fuente renovable y limpia, lo que la convierte en una alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles. (Hernández, 2012)

Las obras hidráulicas desempeñan un papel crucial en la defensa contra fenómenos naturales como las inundaciones. En muchas regiones, las lluvias intensas o el deshielo de las montañas pueden causar un aumento repentino del caudal de los ríos, lo que puede llevar a inundaciones devastadoras. Las infraestructuras como diques, aliviaderos y canales de desvío se diseñan para gestionar el exceso de agua, redirigiéndolo hacia zonas seguras o almacenándolo temporalmente para evitar daños a las áreas habitadas. Las obras hidráulicas son una manifestación tangible de la capacidad humana para adaptar y controlar el entorno natural con fines de bienestar social, económico y ambiental. Representan la conjunción del conocimiento científico y tecnológico con la necesidad básica de gestionar el agua, un recurso fundamental para la vida y el desarrollo sostenible. A medida que la demanda de agua sigue aumentando debido al crecimiento de la población y al cambio climático, la importancia de las obras hidráulicas solo continuará creciendo, desempeñando un papel central en la seguridad hídrica del futuro (Herrera, 2023)

Existen diferentes tipos de obras hidráulicas, cada una con un propósito específico:



## 4.1.2 Obras de Almacenamiento:

### 4.1.2.1 Presas:

Una presa es una estructura artificial que se construye en el cauce de un río o curso de agua con el objetivo de retener y almacenar el agua en un embalse. Las presas permiten controlar el flujo de agua y son fundamentales en la gestión de los recursos hídricos, brindando múltiples beneficios como la generación de energía hidroeléctrica, el suministro de agua potable, la irrigación agrícola y la protección contra inundaciones. Estas obras de ingeniería hidráulica tienen un impacto significativo en el desarrollo económico y social de las regiones donde se construyen, ya que permiten aprovechar el agua de manera controlada y sostenida. (Vega, 2010)

Las presas se construyen para acumular grandes volúmenes de agua en períodos de lluvia o cuando los caudales son abundantes, de manera que se pueda contar con ese recurso en momentos de sequía o cuando su demanda es mayor. El agua retenida se almacena en un embalse o lago artificial que, además de garantizar el suministro de agua para consumo humano e industrial, puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas. Estas centrales transforman la energía potencial del agua almacenada en energía cinética cuando es liberada y hace girar las turbinas, las cuales producen electricidad de forma limpia y renovable. (Santaella, 2001)

Desde el punto de vista estructural, existen varios tipos de presas, cada una con características específicas en cuanto a su diseño y materiales empleados. Las presas de gravedad son aquellas que resisten el empuje del agua gracias a su propio peso; suelen construirse con materiales como hormigón o mampostería. Las presas de arco, por otro lado, se basan en un diseño curvo que permite distribuir las fuerzas del agua hacia los lados y hacia las montañas o paredes del valle donde se construyen. Este tipo de presa es más ligero y eficiente en términos de materiales, ya que el diseño en arco aprovecha mejor las fuerzas. Las presas de materiales sueltos, como las de tierra o roca, se construyen apilando estos materiales de manera compactada para



formar un muro resistente, siendo ideales en lugares donde los materiales de construcción están fácilmente disponibles. Aunque no pueden ser tan altas como las de hormigón, son adecuadas para situaciones donde los costos o las condiciones geológicas limitan el uso de otros tipos de presa. La construcción de presas implica un proceso complejo que abarca desde el estudio del terreno hasta el diseño y la ejecución de la obra. Antes de construir una presa, los ingenieros deben realizar estudios geotécnicos y ambientales detallados para asegurarse de que la estructura sea viable y no represente un peligro para el entorno o para las comunidades cercanas. Se analizan factores como la calidad del suelo, la resistencia de las rocas, el caudal del río y las posibles consecuencias de represar el agua en ese lugar. Además, se toman en cuenta aspectos climáticos, hidrológicos y sísmicos, ya que una presa debe ser capaz de resistir condiciones extremas como terremotos o lluvias torrenciales. (Prieto Cruz, 2019)

Desde una perspectiva ambiental, las presas tienen un impacto significativo en los ecosistemas naturales. Al alterar el flujo natural de los ríos, pueden afectar a la fauna y flora que dependen de estos cuerpos de agua. Por ejemplo, las especies migratorias de peces, como los salmones, encuentran dificultades para reproducirse si no pueden remontar el curso del río hasta sus áreas de desove debido a la barrera impuesta por la presa. Para mitigar este impacto, en muchos casos se instalan sistemas como escaleras para peces o se establecen rutas alternativas para que los animales puedan continuar su ciclo vital. Además, la creación de una presa altera el ecosistema de la cuenca inundada, transformando áreas terrestres en cuerpos de agua y afectando la vegetación y la fauna local. Otra de las principales funciones de las presas es la prevención de inundaciones. Al regular el caudal de los ríos, las presas pueden retener el agua en épocas de lluvias intensas o crecidas, evitando que el exceso de agua cause inundaciones aguas abajo. El almacenamiento controlado del agua permite liberarla gradualmente y de manera segura, evitando daños a las áreas urbanas, agrícolas o industriales que podrían verse afectadas por las inundaciones. Sin embargo, es importante resaltar que la seguridad de una presa es un aspecto crítico, ya que, si falla o se rompe, el resultado podría ser una inundación catastrófica. Por esta



razón, las presas requieren un mantenimiento constante, monitoreo y controles rigurosos para garantizar su integridad estructural a lo largo del tiempo. (Meza, 2019)

En cuanto a su utilidad para la irrigación agrícola, las presas juegan un papel crucial en zonas donde las lluvias son escasas o irregulares. El agua almacenada en los embalses se puede distribuir de manera eficiente a través de canales o tuberías hacia las áreas de cultivo, asegurando que las plantas reciban el riego necesario incluso en períodos de sequía. Este uso controlado del agua permite aumentar la productividad agrícola, especialmente en regiones áridas o semiáridas, donde la agricultura dependiente de las lluvias sería inviable sin un sistema de riego adecuado. Además de estos beneficios, las presas también pueden proporcionar recreación y turismo. Las actividades recreativas, como la pesca, la navegación y los deportes acuáticos, generan un impacto positivo en la economía local al atraer a turistas y visitantes. Además, estas áreas suelen estar rodeadas de paisajes naturales que, junto con la infraestructura de la presa, pueden ser parte de parques nacionales o áreas protegidas. Estos espacios no solo brindan oportunidades para el ocio y la recreación, sino que también fomentan la educación ambiental y el respeto por los recursos naturales. A pesar de los múltiples beneficios de las presas, también es importante tener en cuenta los impactos sociales que pueden causar. La construcción de una presa requiere grandes extensiones de terreno, lo que a menudo implica el desplazamiento de comunidades que viven en las áreas que serán inundadas. Estas poblaciones suelen perder sus hogares, tierras agrícolas y acceso a recursos locales, lo que puede generar conflictos y tensiones. Aunque en muchos casos los gobiernos implementan planes de reubicación y compensación, el impacto sobre las comunidades afectadas puede ser devastador. Además, la inundación de tierras y la alteración de ecosistemas puede tener repercusiones a largo plazo en la biodiversidad y la calidad del suelo. (Martínez Yrizar, 2012)

El diseño y construcción de presas ha evolucionado considerablemente con el tiempo, incorporando avances tecnológicos que mejoran tanto la eficiencia como la seguridad. Actualmente, se utilizan modelos computacionales para simular el comportamiento del agua y



prever posibles fallos o debilidades estructurales. Los sensores y sistemas de monitoreo permiten detectar cambios en la estructura de la presa o en los niveles de agua, facilitando una respuesta rápida ante cualquier anomalía. Estos avances tecnológicos no solo aumentan la vida útil de las presas, sino que también mejoran su capacidad para resistir fenómenos naturales extremos, como terremotos o lluvias intensas. En cuanto a la gestión del agua, las presas desempeñan un papel crucial al garantizar un suministro constante y controlado. En muchas regiones, el agua embalsada es vital para la supervivencia de las actividades agrícolas, industriales y domésticas. Sin embargo, la construcción de presas debe equilibrarse con una gestión sostenible de los recursos hídricos, ya que un manejo inadecuado puede provocar escasez de agua en áreas río abajo o causar un agotamiento prematuro de los acuíferos subterráneos. En el futuro, se espera que las presas continúen siendo un componente esencial en la infraestructura hídrica mundial, especialmente ante los desafíos del cambio climático. Las variaciones en los patrones de precipitación y el aumento de las sequías prolongadas hacen que el almacenamiento de agua sea más crítico que nunca. No obstante, la construcción de nuevas presas debe ser evaluada con cuidado, teniendo en cuenta tanto los beneficios como los impactos sociales, ambientales y económicos a largo plazo. (Pérez, 2015) A continuación, se muestra una imagen en la cual esta una presa construida en Perú:



**Figura 1**

### **Presas mas grande de Perú**



*Nota. Hidrología, H. E. (2020). Presa más grande de Perú. [Fotografía]. <https://hidraulicautiling.blogspot.com/2020/04/tipos-de-presas-de-agua.html>*

#### **4.1.2.2 Embalses:**

Un embalse es una acumulación de agua formada artificialmente mediante la construcción de una presa o dique en el cauce de un río o arroyo. Su objetivo principal es retener y almacenar grandes volúmenes de agua que puedan ser utilizados de manera controlada para distintos fines, tales como el suministro de agua potable, la irrigación de tierras agrícolas, la generación de energía hidroeléctrica, el control de inundaciones y el desarrollo de actividades recreativas. En su esencia, un embalse actúa como un depósito regulador que almacena el agua en épocas de



abundancia para su uso en períodos de escasez o para gestionar el caudal de un río según las necesidades humanas y ambientales. (Fernández, 2008)

La construcción de un embalse tiene un impacto significativo en el entorno y en las comunidades cercanas. La creación de una vasta masa de agua requiere inundar grandes extensiones de terreno, lo que transforma profundamente el paisaje y el ecosistema local. Zonas que antes podían estar cubiertas de vegetación, bosques o áreas agrícolas, quedan sumergidas bajo el agua, cambiando la dinámica ecológica y afectando a la flora y fauna que habitaban esas áreas. Este cambio puede llevar a la desaparición de ciertos hábitats, aunque también puede crear nuevos ecosistemas acuáticos que fomentan la proliferación de especies adaptadas al agua, como peces y aves acuáticas. Sin embargo, el impacto ecológico no siempre es positivo, ya que las especies terrestres desplazadas pueden no encontrar otros hábitats adecuados en los que sobrevivir. Desde una perspectiva hídrica, los embalses son herramientas cruciales para la gestión del agua en regiones donde la distribución de las precipitaciones es desigual o estacional. En muchas partes del mundo, las lluvias son más intensas en determinadas épocas del año, mientras que en otras el agua es escasa. En estas situaciones, los embalses permiten almacenar el exceso de agua durante las temporadas de lluvias para liberarla gradualmente cuando es más necesaria, como en periodos de sequía o durante los meses de verano. Este uso eficiente del agua es clave para garantizar la estabilidad de los recursos hídricos, especialmente en áreas donde la demanda supera la disponibilidad natural del recurso. (Comas Navarro, 2018)

Los embalses también juegan un papel vital en la producción de energía hidroeléctrica. Cuando el agua almacenada en el embalse es liberada, su caída desde una cierta altura genera energía cinética que se transforma en energía eléctrica a través de turbinas. Este proceso permite la generación de electricidad de manera limpia y renovable, ya que no produce emisiones contaminantes y utiliza un recurso natural inagotable: el agua. De hecho, muchas de las grandes presas del mundo están diseñadas con el propósito principal de generar energía hidroeléctrica, proporcionando electricidad a vastas regiones y contribuyendo a la estabilidad energética de las



economías locales. Otra función importante de los embalses es su papel en la prevención de inundaciones. Durante las épocas de lluvias intensas o tormentas, los ríos pueden desbordarse y causar graves daños a infraestructuras y poblaciones situadas en áreas bajas o cercanas a los cauces. Un embalse permite contener temporalmente ese exceso de agua, evitando que llegue en grandes cantidades aguas abajo, donde podría causar inundaciones. Al regular el caudal de los ríos y liberarlo de manera controlada, los embalses ayudan a mitigar el impacto de las crecidas y reducen el riesgo de desastres naturales en regiones vulnerables. (Palau Ibars, 2003)

El uso de los embalses para la irrigación agrícola es otro de sus beneficios cruciales. En muchas zonas del mundo, la agricultura depende de sistemas de riego que obtienen el agua de embalses. En regiones áridas o semiáridas, donde las lluvias son insuficientes para mantener los cultivos, los embalses se convierten en la fuente de agua principal para los agricultores, asegurando una producción agrícola sostenible incluso en las épocas más secas del año. El agua de los embalses se canaliza a través de sistemas de distribución, como canales y tuberías, hasta llegar a las áreas de cultivo, donde se utiliza para irrigar las tierras. Sin este tipo de infraestructura, muchas regiones no podrían sostener una agricultura productiva y, en consecuencia, dependerían de la importación de alimentos. Además de sus funciones económicas y de gestión hídrica, los embalses también proporcionan oportunidades recreativas. Muchos embalses se convierten en lugares populares para el turismo y el ocio, ofreciendo actividades como la pesca, la navegación, el piragüismo, el senderismo y el campamento. Estas áreas recreativas atraen a turistas y proporcionan una fuente de ingresos para las comunidades locales. Además, el entorno alrededor de un embalse suele transformarse en un atractivo natural, donde el paisaje combina la tranquilidad del agua con los alrededores naturales, creando un ambiente idóneo para el esparcimiento y el turismo ecológico. (Mera, 2024)

No obstante, la construcción y operación de un embalse no está exenta de desafíos y controversias. Uno de los mayores problemas asociados a los embalses es el desplazamiento de poblaciones humanas. Cuando se construye un embalse, las áreas que van a ser inundadas a



menudo incluyen tierras agrícolas, pueblos e incluso ciudades. Esto implica la reubicación de comunidades enteras, que deben abandonar sus hogares, tierras y medios de vida. Aunque en muchos casos se ofrecen compensaciones y planes de reubicación, el impacto social puede ser devastador, ya que no solo se pierde el acceso a las tierras, sino también los vínculos culturales y sociales que las personas han construido durante generaciones. Además, la acumulación de sedimentos en los embalses es un desafío a largo plazo que puede reducir su capacidad de almacenamiento. Los ríos transportan naturalmente sedimentos, que se depositan en el fondo del embalse. Con el tiempo, estos sedimentos pueden acumularse en grandes cantidades, reduciendo el volumen de agua que puede almacenar el embalse y afectando su eficiencia para cumplir con sus funciones, ya sea en la generación de energía, el control de inundaciones o el suministro de agua. En muchos casos, la extracción de sedimentos puede ser una tarea costosa y técnicamente compleja. (Nicolau, 1988)

A nivel ambiental, los embalses también pueden tener un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos y terrestres. El cambio en el régimen de caudales de los ríos, así como la alteración de las temperaturas del agua, puede afectar a las especies que dependen del río para su reproducción o alimentación. Los peces migratorios, por ejemplo, pueden tener dificultades para seguir su curso natural río arriba si se encuentran con la barrera de un embalse. Para mitigar estos efectos, algunos embalses cuentan con sistemas de escaleras para peces o mecanismos similares que facilitan la migración de las especies acuáticas. Los embalses son infraestructuras esenciales para la gestión y el aprovechamiento del agua en muchas regiones del mundo. Sus beneficios abarcan desde el suministro de agua potable y el riego agrícola hasta la generación de energía y la prevención de inundaciones. Sin embargo, su construcción y operación presentan desafíos significativos, tanto sociales como ambientales, que deben gestionarse con cuidado para maximizar sus ventajas y minimizar sus impactos negativos. Como pieza clave en la infraestructura hidráulica, los embalses seguirán desempeñando un papel crucial en la adaptación



a los retos que plantea el cambio climático y la creciente demanda de agua en todo el mundo. (Ayala, 2016)

A continuación, se muestra una imagen ilustrativa de un embalse ubicado en Madrid-España:

**Figura 2**

### **Embalse con revestimiento de concreto**



*Nota. Quiroz, (2020 )Embalse de revestimiento de concreto.[Fotografía]. <https://www.todoagua.es/que-es-un-embalse/>*



### 4.1.3 Obras de Derivación y Conducción

#### 4.1.3.1 Canales:

Un canal es una infraestructura hidráulica artificial diseñada para transportar agua desde un lugar a otro, generalmente a través de terrenos que no tienen acceso natural a fuentes de agua o para facilitar el tránsito de embarcaciones. Los canales se construyen con propósitos diversos, que pueden incluir el suministro de agua para riego en áreas agrícolas, la navegación comercial o recreativa, la distribución de agua potable, el control de inundaciones y la generación de energía hidroeléctrica. A lo largo de la historia, los canales han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo económico, social y agrícola de muchas civilizaciones, facilitando el comercio y el transporte, además de contribuir a la gestión eficiente de los recursos hídricos.

Desde el punto de vista estructural, un canal consiste en una vía excavada en el terreno, revestida o no con materiales específicos, que se utiliza para conducir agua a través de áreas donde la topografía natural no lo permite. Los canales pueden ser de diversas dimensiones, desde pequeños cauces para el riego de campos hasta enormes vías fluviales navegables capaces de albergar embarcaciones de gran tamaño. Su diseño varía según el uso y las condiciones del terreno, pero generalmente están contruidos con pendientes controladas para asegurar un flujo adecuado del agua. Además, los canales a menudo se complementan con estructuras auxiliares como compuertas, esclusas, sifones y acueductos, que permiten gestionar el caudal del agua, superar desniveles en el terreno o evitar la interferencia con otros cuerpos de agua o carreteras. (Espir, Nureña 2015)

Uno de los principales usos de los canales es la irrigación agrícola, especialmente en zonas áridas o semiáridas donde las precipitaciones son insuficientes para mantener una agricultura productiva. En estas regiones, los canales permiten transportar agua desde ríos, embalses o lagos hasta los campos de cultivo, asegurando un suministro constante y regulado de agua para los agricultores. La distribución eficiente del agua a través de sistemas de canales ha



sido clave para el desarrollo de la agricultura en muchas partes del mundo, desde los antiguos sistemas de riego en Mesopotamia y Egipto hasta los modernos proyectos de irrigación en áreas como California o el sur de España. En estos contextos, los canales no solo permiten que los agricultores cultiven una mayor variedad de productos, sino que también aumentan la productividad agrícola al garantizar que las plantas reciban el agua en las cantidades y momentos adecuados. Además de su función agrícola, los canales han sido históricamente esenciales para la navegación y el comercio. En muchos casos, los canales se han construido para conectar ríos, mares o lagos, permitiendo que las embarcaciones transporten mercancías y personas a través de rutas más cortas o seguras que las rutas naturales. Los canales navegables fueron particularmente importantes en la época de la Revolución Industrial, cuando el comercio entre regiones experimentó un auge significativo. Canales famosos como el Canal de Suez o el Canal de Panamá han transformado el comercio internacional al reducir drásticamente los tiempos de navegación entre continentes, permitiendo el transporte rápido y eficiente de productos entre Asia, Europa y América. Estos canales son verdaderas obras maestras de la ingeniería moderna y requieren un mantenimiento constante y complejo para garantizar que permanezcan operativos y seguros para el tráfico marítimo. (Castellanos, 2017)

Otro uso destacado de los canales es la gestión del agua en áreas urbanas y en sistemas de control de inundaciones. En muchas ciudades, los canales forman parte del sistema de drenaje urbano, ayudando a desviar el exceso de agua de lluvia o de ríos durante los períodos de crecidas. Al canalizar el agua lejos de las áreas urbanizadas y hacia lagos, embalses o el mar, los canales reducen el riesgo de inundaciones que podrían dañar la infraestructura y poner en peligro a las personas. En este sentido, los canales también se utilizan para regular el caudal de los ríos, permitiendo que el agua fluya de manera controlada y evitando desbordamientos durante las épocas de lluvias intensas. El diseño de estos canales incluye el uso de compuertas y esclusas, que permiten ajustar el nivel del agua y controlar su flujo según las necesidades. (Gallardo, 2018)



Los canales de abastecimiento de agua potable son igualmente importantes, ya que permiten llevar agua desde fuentes naturales o embalses a las zonas urbanas e industriales que requieren grandes cantidades del recurso. En muchos casos, los canales se complementan con sistemas de tuberías y depósitos que almacenan el agua antes de su distribución. Estos canales son fundamentales en el suministro de agua potable a grandes poblaciones y son parte de los sistemas de infraestructura hidráulica que garantizan que las ciudades tengan un suministro de agua constante y seguro. Sin ellos, el acceso a agua potable en áreas urbanas, especialmente en zonas de crecimiento demográfico acelerado, sería mucho más complicado y costoso. Desde el punto de vista ambiental, los canales pueden tener tanto impactos positivos como negativos. Por un lado, los canales pueden contribuir a la reforestación y al desarrollo de nuevos hábitats acuáticos, lo que favorece la biodiversidad local al crear ambientes propicios para la vida silvestre, como peces, aves y plantas acuáticas. Por otro lado, la construcción de canales puede alterar los ecosistemas naturales al desviar el curso de los ríos, cambiar la calidad del agua y afectar a las especies que dependen de las dinámicas de los ríos naturales. Los canales también pueden ser puntos de acumulación de sedimentos y contaminantes, lo que requiere de un mantenimiento adecuado para evitar su degradación y la contaminación de los cuerpos de agua conectados. (Barrientos, 1997)

El proceso de construcción de un canal es técnicamente complejo y requiere estudios previos detallados que consideran factores como la topografía, el suelo, la hidrología y las posibles repercusiones ambientales. Es necesario diseñar la pendiente del canal de manera precisa para evitar que el agua se desborde o que se estanque en ciertas áreas. Además, el revestimiento del canal, que puede ser de materiales como hormigón, piedra o tierra compactada, debe ser adecuado para minimizar las filtraciones de agua y garantizar la durabilidad de la infraestructura. A lo largo de la historia, los canales han sido herramientas fundamentales en el progreso humano. Desde los canales de riego utilizados en civilizaciones antiguas hasta las grandes obras modernas como el Canal de Corinto o el Gran Canal de China, los canales han permitido el



aprovechamiento y la gestión del agua en zonas donde su disponibilidad era limitada. En el mundo contemporáneo, continúan siendo una parte esencial de la infraestructura hidráulica, sirviendo a múltiples propósitos que van desde el abastecimiento de agua potable y la irrigación hasta el transporte y la protección contra inundaciones. (Ortiz, 2007)

Los canales son obras de ingeniería esenciales para la gestión del agua y el desarrollo humano. Su construcción y operación permiten aprovechar de manera más eficiente los recursos hídricos, facilitando el riego agrícola, el transporte, el control de inundaciones y el suministro de agua potable. Sin embargo, también presentan desafíos, como el impacto ambiental y la necesidad de un mantenimiento constante, que deben abordarse para maximizar sus beneficios y mitigar los efectos negativos. Como parte de la infraestructura hidráulica global, los canales seguirán siendo un componente vital en la gestión sostenible del agua, especialmente ante los desafíos que plantea el cambio climático y el crecimiento de la población mundial. A continuación, se agrega una imagen ilustrativa de un canal con revestimiento de concreto



**Figura 3**

### **Canal con revestimiento de concreto**



*Nota. Confluencia Varios Canales Riego Provincia Zamora España. (2020.). Canal con revestimiento de concreto ubicado en España [Fotografía], <https://depositphotos.com/mx/photo/confluence-several-irrigation-canals-province-zamora-spain-481551112.html>*

#### **4.1.3.2 Tuberías:**

Las tuberías son componentes fundamentales de los sistemas de distribución de fluidos, utilizadas para transportar líquidos, gases o sólidos en forma de partículas a través de diferentes



tipos de infraestructuras. Las tuberías permiten la transferencia eficiente de agua potable, gas natural, petróleo, aguas residuales y otros fluidos, conectando fuentes y destinos a largas distancias de manera controlada y segura. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales, urbanas y domésticas, lo que las convierte en elementos esenciales de la vida moderna y el desarrollo tecnológico.

Las tuberías pueden fabricarse a partir de diferentes materiales, dependiendo del tipo de fluido que transporten, la presión requerida y las condiciones ambientales a las que estarán expuestas. Los materiales más comunes incluyen el acero, el hierro fundido, el cobre, el plástico (como el PVC, PE y PEX), y el hormigón. Cada material tiene ventajas y desventajas específicas que lo hacen adecuado para ciertos contextos. Por ejemplo, las tuberías de acero son muy resistentes a las altas presiones y temperaturas, lo que las hace ideales para aplicaciones industriales y en sistemas de energía. Por otro lado, las tuberías de plástico son ligeras, fáciles de instalar y altamente resistentes a la corrosión, por lo que se utilizan con frecuencia en sistemas de agua potable y desagües domésticos. Las dimensiones de las tuberías, como el diámetro y el grosor de las paredes, también varían considerablemente según su uso. Las tuberías de gran diámetro se utilizan en sistemas de acueductos o conducciones de petróleo, mientras que las tuberías de menor diámetro son comunes en sistemas domésticos de agua o gas. El diámetro de una tubería es un factor clave en su capacidad de transporte, ya que determina el volumen de fluido que puede fluir a través de ella en un período de tiempo determinado. (Lopez, 2017)

El diseño de los sistemas de tuberías es un proceso complejo que requiere considerar diversos factores, como la presión del fluido, la velocidad de flujo, la fricción interna y externa, y las condiciones ambientales, como la temperatura o la exposición a productos químicos corrosivos. Además, las tuberías deben estar equipadas con accesorios como válvulas, bridas, codos y uniones, que permiten controlar el flujo, redirigir el fluido o conectar diferentes tramos de la tubería. Estos accesorios son fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema, ya que permiten ajustar o cerrar el flujo de fluido según sea necesario, realizar mantenimiento o



reparaciones, y adaptar el sistema a cambios en la configuración del entorno. La instalación de tuberías es otra parte crítica del proceso, que requiere técnicas específicas y equipos especializados para garantizar que las tuberías se coloquen correctamente y funcionen de manera eficiente. En muchos casos, las tuberías deben enterrarse bajo tierra para protegerlas de los elementos y evitar posibles daños. En otros contextos, como en plantas industriales o edificios, las tuberías se instalan sobre la superficie y se protegen mediante sistemas de soporte y aislamiento. La soldadura y la adhesión son métodos comunes para unir tuberías y accesorios, aunque también se utilizan técnicas de roscado o acoplamiento en ciertos casos. Uno de los mayores desafíos en los sistemas de tuberías es el mantenimiento y la prevención de problemas como fugas, corrosión, obstrucciones o roturas. Las tuberías, especialmente aquellas que transportan agua o gas, están sujetas a la corrosión, lo que puede debilitar sus paredes y, eventualmente, provocar rupturas. El uso de revestimientos protectores, como la pintura anticorrosiva o el revestimiento de polímeros, puede ayudar a prolongar la vida útil de las tuberías, pero el mantenimiento regular sigue siendo esencial. Los sistemas modernos de monitoreo y detección de fugas permiten identificar problemas antes de que se agraven, utilizando tecnologías como sensores de presión y flujo, cámaras de inspección y técnicas no destructivas para evaluar la integridad de las tuberías. (Marron, 2018)

El impacto ambiental de las tuberías también es un tema relevante en la actualidad. Si bien los sistemas de tuberías son esenciales para el suministro de agua potable, la gestión de residuos y la distribución de energía, la construcción y operación de tuberías pueden tener efectos negativos en el entorno natural. La construcción de oleoductos y gasoductos, por ejemplo, a menudo implica atravesar áreas sensibles desde el punto de vista ecológico, como bosques, ríos y áreas protegidas. En estos casos, se deben tomar medidas de mitigación, como el uso de técnicas de perforación direccional para minimizar el daño al terreno y la restauración de los ecosistemas afectados después de la instalación. Otro desafío es la eficiencia energética de los sistemas de tuberías. El transporte de fluidos a largas distancias requiere energía, especialmente cuando se



utilizan bombas o compresores para mantener el fluido en movimiento. La fricción interna dentro de las tuberías puede aumentar el consumo de energía, por lo que el diseño eficiente y la elección de materiales con baja resistencia al flujo son cruciales para minimizar las pérdidas energéticas. Además, el aislamiento térmico es fundamental en las tuberías que transportan fluidos calientes o fríos, como en los sistemas de calefacción o refrigeración, para evitar pérdidas de energía y mantener las temperaturas deseadas. En el caso de las tuberías de gas y petróleo, los oleoductos y gasoductos juegan un papel crucial en el transporte de estos recursos a nivel global. Estos sistemas permiten transportar grandes volúmenes de petróleo crudo o gas natural desde las áreas de producción hasta las refinerías, plantas de procesamiento o mercados finales. Los oleoductos son particularmente importantes en la industria del petróleo, ya que son una forma eficiente y segura de transportar crudo a lo largo de miles de kilómetros, atravesando terrenos difíciles y zonas remotas. Los gasoductos, por su parte, se utilizan tanto para transportar gas natural en estado gaseoso como gas licuado, lo que requiere un diseño especializado para manejar las presiones y temperaturas extremas involucradas en el proceso. (Pinto, 2020)

En el ámbito doméstico e industrial, las tuberías son igualmente esenciales para la distribución de agua potable, sistemas de calefacción, aire acondicionado, gas natural y desagües. En los hogares, por ejemplo, el uso de tuberías de cobre o plástico es común en la instalación de sistemas de fontanería, garantizando el suministro de agua limpia y segura a grifos, duchas y electrodomésticos. Asimismo, las tuberías de PVC o PE se utilizan en la construcción de sistemas de drenaje y desagües, que eliminan las aguas residuales de las viviendas y las llevan a plantas de tratamiento o cuerpos de agua. Las tuberías son componentes críticos en una amplia gama de aplicaciones industriales, comerciales y domésticas. Desde el suministro de agua potable hasta el transporte de petróleo y gas, las tuberías permiten que los fluidos se muevan de manera eficiente y segura a través de grandes distancias. Su diseño, instalación, operación y mantenimiento requieren una planificación cuidadosa y una comprensión de los principios de ingeniería hidráulica, materiales y sostenibilidad. Las tuberías son fundamentales para el desarrollo



económico y social moderno, ya que permiten el acceso a recursos esenciales para la vida diaria y la industria. (Ruiz, 2017).

A continuación, en la figura 4 hay dos tuberías:

#### Figura 4

#### Tuberías de revestimiento de cemento



*Nota. Nelson, (2017). Tuberías de revestimiento de cemento [Fotografía]. <https://eadic.com/blog/entrada/factores-tener-en-cuenta-en-el-diseno-hidraulico-de-tuberias/>*



#### 4.1.3.3 Acueductos:

Un acueducto es una infraestructura hidráulica diseñada para transportar agua desde una fuente natural, como un río, lago o embalse, hasta un destino donde se necesita, ya sea una ciudad, un área agrícola o una instalación industrial. Los acueductos han sido utilizados por diversas civilizaciones a lo largo de la historia para garantizar el suministro constante de agua a zonas que carecen de acceso directo a fuentes de agua, especialmente en áreas con escasas precipitaciones o donde los cuerpos de agua están ubicados lejos de los centros poblacionales. Aunque el término suele asociarse con las grandes estructuras elevadas de la Antigua Roma, un acueducto puede ser cualquier sistema, ya sea subterráneo o elevado, que facilite el transporte de agua a través de largas distancias. (Acosta, 2014)

Los acueductos son una combinación de ingeniería avanzada y diseño hidráulico eficiente. Su construcción requiere un análisis detallado de la topografía y de la fuente de agua, ya que es fundamental garantizar que el agua fluya de manera continua y controlada. En su forma más simple, un acueducto aprovecha la gravedad para conducir el agua desde una altura mayor a un área de menor altitud, lo que permite que el agua fluya de manera natural. Sin embargo, en terrenos más complejos, donde el agua debe atravesar valles, montañas u otros obstáculos, los acueductos pueden incluir canales, túneles, puentes o sifones para garantizar el transporte del recurso. Históricamente, los acueductos han sido una obra maestra de la ingeniería. Los romanos, por ejemplo, desarrollaron algunos de los acueductos más avanzados y extensos de la antigüedad, muchos de los cuales todavía se mantienen en pie hoy en día. El propósito principal de estos acueductos era suministrar agua potable a las ciudades en expansión del Imperio Romano, garantizando un acceso constante y abundante a este recurso vital. Los romanos construyeron acueductos que llegaban a medir hasta cientos de kilómetros de longitud, utilizando una combinación de puentes elevados, canales abiertos y túneles subterráneos para transportar el agua desde las montañas y ríos lejanos hasta las ciudades. Ejemplos famosos de estos acueductos incluyen el acueducto de Segovia en España y el acueducto Claudio en Roma. (Torres, 2018)



Además de los acueductos romanos, otras civilizaciones antiguas también desarrollaron sus propios sistemas para transportar agua. En Persia, por ejemplo, se utilizaban qanats, que eran túneles subterráneos que transportaban agua desde acuíferos subterráneos hasta áreas agrícolas o asentamientos. Estos qanats eran esenciales en áreas desérticas donde las fuentes de agua superficiales eran escasas. En el Valle de México, las civilizaciones precolombinas, como los aztecas, también construyeron acueductos para abastecer de agua a la capital, Tenochtitlán, la cual estaba rodeada de lagos, pero necesitaba un suministro de agua dulce de fuentes externas. El diseño de los acueductos modernos ha evolucionado considerablemente con el tiempo, pero el principio básico sigue siendo el mismo: asegurar un flujo continuo y controlado de agua a través de largas distancias. Hoy en día, los acueductos suelen estar compuestos por una red de tuberías subterráneas, canales revestidos y estaciones de bombeo que permiten el transporte de agua a través de grandes áreas geográficas. Algunos de los acueductos más grandes del mundo están diseñados para suministrar agua a millones de personas en áreas metropolitanas densamente pobladas, como los acueductos que abastecen de agua a las ciudades de Los Ángeles o Nueva York. Estos sistemas modernos están equipados con tecnología avanzada que permite monitorear el flujo de agua, detectar posibles fugas y ajustar la presión del agua según las necesidades del consumo. (Cualla, 2003)

Un aspecto clave en la operación de los acueductos es el tratamiento del agua. En muchos casos, el agua transportada a través de los acueductos proviene de fuentes naturales que pueden contener impurezas, microorganismos o contaminantes. Por esta razón, es común que los acueductos incluyan instalaciones de tratamiento del agua, donde se eliminan los contaminantes y se asegura que el agua sea segura para el consumo humano. Estos tratamientos pueden incluir procesos como la filtración, la cloración y la desinfección por rayos ultravioleta. En sistemas de acueductos que transportan agua para usos agrícolas o industriales, el tratamiento puede ser menos exhaustivo, pero aun así es esencial garantizar que el agua sea adecuada para sus fines específicos.



Además del suministro de agua potable, los acueductos también juegan un papel crucial en la agricultura. En muchas regiones, los sistemas de acueductos son fundamentales para transportar agua desde ríos o embalses hasta áreas agrícolas que dependen del riego para mantener la productividad de los cultivos. Este es el caso en zonas áridas o semiáridas donde las precipitaciones no son suficientes para mantener una agricultura sostenible. Los acueductos agrícolas suelen estar diseñados para llevar grandes volúmenes de agua y distribuirla a través de sistemas de canales secundarios, que se extienden por los campos agrícolas. Sin estos sistemas de acueductos, muchas áreas del mundo no podrían cultivar alimentos en la cantidad suficiente para abastecer a sus poblaciones. El impacto de los acueductos en el medio ambiente ha sido un tema de debate en los últimos años. Si bien estos sistemas son esenciales para garantizar el suministro de agua en áreas urbanas e industriales, la construcción de acueductos puede tener consecuencias negativas en los ecosistemas naturales. La extracción de grandes volúmenes de agua de ríos o acuíferos puede reducir el caudal natural de estos cuerpos de agua, afectando a las especies que dependen de ellos. Además, la construcción de acueductos a través de áreas naturales puede fragmentar hábitats y alterar los paisajes. En respuesta a estas preocupaciones, muchos proyectos modernos de acueductos incluyen medidas para minimizar su impacto ambiental, como el uso de técnicas de gestión sostenible del agua y la restauración de ecosistemas afectados. (Araque, 2015)

En términos de tecnología, los acueductos modernos han incorporado avances significativos que mejoran su eficiencia y sostenibilidad. Los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten a los operadores detectar problemas, como fugas o bloqueos, y tomar medidas correctivas de inmediato. Además, el uso de materiales más duraderos y resistentes, como el acero y el concreto reforzado, ha permitido que los acueductos modernos sean más fiables y requieran menos mantenimiento. Algunas áreas también han comenzado a implementar sistemas de recuperación y reutilización del agua, que permiten reducir la demanda sobre los acueductos al reutilizar el agua para usos no potables, como el riego o la limpieza industrial. Los acueductos son una de las infraestructuras más importantes en la gestión del agua, tanto en la antigüedad



como en el mundo moderno. Han sido fundamentales para el desarrollo de las civilizaciones, permitiendo el crecimiento de las ciudades, la expansión de la agricultura y el suministro de agua a millones de personas. A medida que el cambio climático y el crecimiento de la población mundial continúan ejerciendo presión sobre los recursos hídricos, los acueductos seguirán desempeñando un papel crucial en la distribución eficiente del agua, aunque también será necesario abordar los desafíos ambientales y sociales que conlleva su construcción y operación. (Montoya, 2007)

A continuación, se muestra una estructura de acueducto en roma y seguidamente una gráfica ilustrativa de cómo funciona

## Figura 5

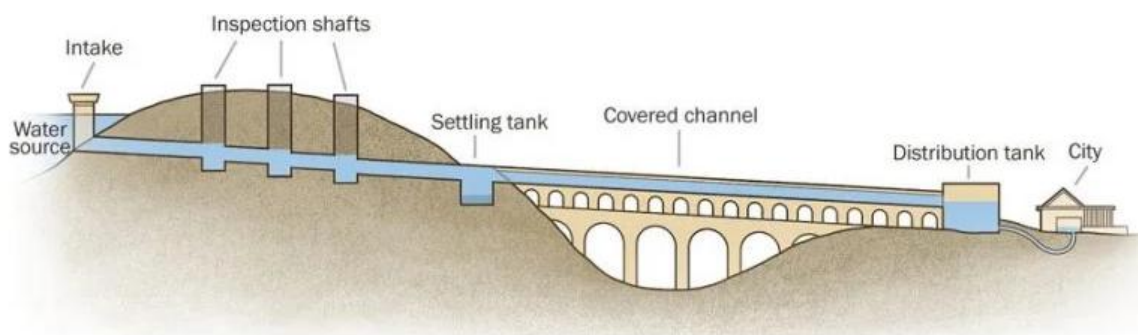
### Acueducto de Roma



Rodà, I. (2023, agosto 19). Acueductos, una obra maestra de la ingeniería romana. National geographic. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana\\_19151](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana_19151)

## Figura 6

**Ilustración de cómo funciona un acueducto de roma**



Rodà, I. (2023, agosto 19). *Acueductos, una obra maestra de la ingeniería romana*. National geographic. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana\\_19151](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana_19151)

#### 4.1.4 Obras de Distribución

##### 4.1.4.1 Redes de Distribución de Agua Potable:

Las redes de distribución de agua potable son sistemas complejos y esenciales para el suministro de agua tratada a la población. Estos sistemas están diseñados para transportar el agua desde plantas de tratamiento o depósitos de almacenamiento hacia los hogares, industrias, comercios y otros puntos de consumo. Las redes de distribución son vitales para garantizar que el agua llegue en cantidad suficiente, con presión adecuada y cumpliendo con los estándares de calidad para el consumo humano. El diseño de una red de distribución de agua potable se basa en varios factores, como la demanda de agua, la topografía del área a servir y las proyecciones de crecimiento poblacional. Una red bien diseñada debe ser capaz de adaptarse a variaciones en el consumo de agua durante el día, prever el aumento de la demanda en el futuro y minimizar las pérdidas de agua a través de fugas o roturas en las tuberías. Por lo tanto, las redes de distribución de agua suelen tener un diseño ramificado o en forma de malla, dependiendo de las características del terreno y la distribución de la población. En un diseño en malla, por ejemplo, el agua puede circular por varias rutas diferentes, lo que aumenta la seguridad del sistema al permitir que el suministro continúe en caso de que se presente una avería en una parte de la red. (Vidal, 1994)



Las tuberías son los principales componentes de las redes de distribución, y pueden estar hechas de diferentes materiales, como hierro fundido, acero, hormigón, plástico (PVC o PEAD), entre otros. La elección del material depende de varios factores, como la presión que el agua debe soportar, la resistencia a la corrosión y la durabilidad del material. Las tuberías principales, también llamadas "aducciones", son de mayor diámetro y se encargan de transportar grandes volúmenes de agua desde los depósitos principales. A medida que el agua se acerca a las áreas de consumo, las tuberías se ramifican en conductos más pequeños que finalmente llegan a los puntos de consumo, como viviendas o edificios. Uno de los retos más importantes en las redes de distribución es la presión del agua. El agua debe llegar a todos los usuarios con la presión adecuada para garantizar su correcto uso, especialmente en edificios de varias plantas o zonas alejadas de las fuentes de suministro. Para mantener una presión adecuada, se utilizan estaciones de bombeo y tanques elevados, que permiten que el agua circule de manera eficiente a través de la red. En muchos sistemas, se emplean válvulas de reducción de presión en puntos estratégicos para evitar sobrepresiones que puedan dañar las tuberías o los accesorios de los usuarios. (Alayo, 2018)

El control de la calidad del agua dentro de las redes de distribución es crucial. A pesar de que el agua ha sido tratada en las plantas de potabilización, es posible que durante su transporte a través de las tuberías sufra alguna contaminación. Para evitar esto, las redes deben estar diseñadas y mantenidas para prevenir la entrada de contaminantes. Además, las empresas de abastecimiento de agua realizan controles periódicos en diferentes puntos de la red para verificar que el agua que llega a los usuarios sigue siendo potable y segura para el consumo. Otro aspecto importante en las redes de distribución es la detección y reparación de fugas. Las fugas en las redes de agua son comunes debido a la antigüedad de las infraestructuras en muchas ciudades, las cuales han estado en funcionamiento por varias décadas. Las pérdidas de agua no solo generan problemas de suministro, sino que también representan un desperdicio considerable de recursos. Para combatir esto, se emplean tecnologías de detección de fugas, como sensores acústicos,



cámaras de inspección o sistemas de monitoreo de presión que pueden identificar problemas antes de que se conviertan en averías mayores. El mantenimiento adecuado de las redes y la renovación periódica de las tuberías más antiguas son fundamentales para asegurar su longevidad y eficiencia. (Tzatchkov, 2020)

En cuanto al control operativo, los sistemas de redes de distribución modernas suelen estar equipados con sistemas de telemetría y automatización. Estos sistemas permiten a las autoridades de agua monitorear y controlar el flujo, la presión y la calidad del agua en tiempo real desde centros de control. La capacidad de identificar y reaccionar a problemas de manera inmediata es fundamental para la eficiencia de la red, especialmente en caso de emergencias o desastres naturales que puedan afectar el suministro. Es importante considerar que el crecimiento urbano y los cambios climáticos están imponiendo nuevos desafíos para la gestión de redes de distribución de agua potable. El aumento de la demanda debido a la expansión de las ciudades, junto con la escasez de recursos hídricos en muchas regiones, está obligando a los gestores de redes a buscar formas más eficientes de operar. La modernización de las redes mediante la instalación de tecnologías inteligentes, como sistemas de control de fugas y la implementación de planes de gestión sostenible del agua, son algunas de las estrategias adoptadas para asegurar un suministro adecuado y sostenible para las futuras generaciones. (Campoverde, 2023)

Las redes de distribución de agua potable son un pilar fundamental para el desarrollo y la salud pública. Estas redes, que transportan agua tratada desde las plantas hasta los consumidores, requieren de un diseño, operación y mantenimiento cuidadoso para garantizar que el agua llegue en condiciones óptimas. Los desafíos técnicos y ambientales que enfrentan estos sistemas impulsan a las autoridades a buscar soluciones innovadoras y sostenibles para garantizar el acceso al agua en el futuro. A continuación, se adjunta una ilustración de cómo es una red que distribuye agua potable y una imagen de las tuberías que se utilizan

**Figura 7**



## Sistema de distribución de agua



*Sistema de distribución de agua potable. (2020). Distribución de agua potable [Dibujo] [https://www.aysa.com.ar/Que-Hacemos/Agua-potable/sistema\\_distribucion/sistema\\_de\\_distribucion](https://www.aysa.com.ar/Que-Hacemos/Agua-potable/sistema_distribucion/sistema_de_distribucion)*

### 4.1.4.2 Redes de Riego Agrícola

Las redes de riego agrícola son sistemas diseñados para suministrar agua de manera controlada y eficiente a las tierras agrícolas, garantizando que los cultivos reciban la cantidad de agua necesaria para su crecimiento y desarrollo. El riego es esencial en áreas donde la precipitación es insuficiente o irregular, y juega un papel fundamental en la producción de alimentos a nivel global, permitiendo que las tierras cultivables mantengan su productividad durante todo el año, incluso en épocas de sequía.

Las redes de riego agrícola pueden variar enormemente en su complejidad y extensión, desde sistemas sencillos que cubren pequeñas parcelas hasta infraestructuras de gran escala que abastecen regiones enteras. Los componentes principales de una red de riego incluyen fuentes de agua (como ríos, embalses o pozos), tuberías, canales, bombas, válvulas y sistemas de control. El



diseño y la operación de estas redes están influenciados por factores como el tipo de cultivo, la topografía del terreno, la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas locales. Un aspecto clave de las redes de riego es el método de distribución del agua, que puede clasificarse en varios tipos. Entre los más comunes se encuentran el riego por gravedad, el riego por aspersión y el riego por goteo. El riego por gravedad utiliza la pendiente natural del terreno para que el agua fluya por los canales hacia las áreas de cultivo. Este método es sencillo y de bajo costo, pero puede ser ineficiente en cuanto al uso del agua. El riego por aspersión, por otro lado, imita la lluvia natural mediante el uso de aspersores que distribuyen el agua uniformemente sobre los cultivos. Este sistema es más eficiente que el riego por gravedad, pero puede requerir mayor inversión inicial y mantenimiento. El riego por goteo es uno de los métodos más avanzados, ya que suministra el agua directamente a las raíces de las plantas a través de tuberías con pequeños emisores, minimizando las pérdidas por evaporación y escorrentía, y optimizando el uso del recurso hídrico. (Texera, 2017)

El diseño de las redes de riego debe tener en cuenta la cantidad de agua requerida por cada tipo de cultivo y las características del suelo. Los suelos arenosos, por ejemplo, drenan el agua más rápidamente que los suelos arcillosos, lo que puede influir en la frecuencia y duración del riego. Además, es fundamental que las redes estén equipadas con mecanismos que permitan regular el caudal de agua y su presión, garantizando un suministro uniforme a lo largo del sistema. Uno de los desafíos más importantes en la gestión de las redes de riego agrícola es la eficiencia en el uso del agua. En muchas regiones, el agua destinada a la agricultura representa el mayor porcentaje de consumo de agua dulce. Por lo tanto, la optimización del uso del recurso es crucial para la sostenibilidad agrícola y la preservación de los recursos hídricos. El uso de tecnologías como sensores de humedad en el suelo, sistemas automatizados de control de riego y monitoreo remoto permite a los agricultores gestionar de manera más precisa el suministro de agua, reduciendo el desperdicio y mejorando el rendimiento de los cultivos. (Álvarez, 2019)



Las redes de riego también están expuestas a problemas como la salinización del suelo, que ocurre cuando el agua de riego se evapora dejando sales en la superficie del suelo. Este problema es particularmente común en áreas áridas donde se utilizan aguas subterráneas de baja calidad. Para mitigar este riesgo, es esencial que las redes de riego incluyan sistemas de drenaje adecuados que permitan eliminar el exceso de agua y sales del suelo, preservando su fertilidad a largo plazo. El mantenimiento de las redes de riego es otro aspecto crucial para su funcionamiento a largo plazo. Las tuberías, bombas y otros componentes deben ser revisados periódicamente para evitar obstrucciones, fugas y otros problemas que puedan reducir la eficiencia del sistema. La acumulación de sedimentos en los canales o tuberías es un problema común que puede disminuir el caudal de agua, por lo que es fundamental realizar limpiezas regulares y, si es necesario, reparaciones. Además, los sistemas automatizados requieren revisiones técnicas para asegurar que los sensores y controladores funcionen correctamente. (Reyes, 2020)

El impacto ambiental de las redes de riego agrícola también es un factor importante a considerar. La extracción de grandes cantidades de agua de fuentes superficiales o subterráneas puede afectar los ecosistemas naturales, reduciendo el caudal de los ríos y lagos, y causando la sobreexplotación de acuíferos. Por ello, muchas redes de riego modernas están diseñadas con criterios de sostenibilidad, utilizando tecnologías que minimicen el uso del agua y evitando el desperdicio. En algunas regiones, el uso de aguas residuales tratadas para riego agrícola está ganando popularidad como una solución para reducir la demanda sobre las fuentes de agua dulce. En el contexto del cambio climático, las redes de riego agrícola enfrentan desafíos adicionales. Las fluctuaciones en las precipitaciones, el aumento de las temperaturas y la creciente frecuencia de fenómenos extremos, como sequías prolongadas, están afectando la disponibilidad de agua para la agricultura. En respuesta a esto, los agricultores y los gestores de recursos hídricos están adoptando prácticas más resilientes, como el riego deficitario controlado, que busca maximizar el



rendimiento de los cultivos utilizando menos agua, o la implementación de redes de riego más flexibles que puedan adaptarse a las variaciones climáticas. (Salomón, 2018)

Las redes de riego agrícola son infraestructuras fundamentales para la producción de alimentos y el desarrollo agrícola en muchas partes del mundo. Su diseño, operación y mantenimiento requieren una planificación cuidadosa para garantizar la eficiencia en el uso del agua, minimizar los impactos ambientales y enfrentar los desafíos asociados con el cambio climático y la sostenibilidad. Innovaciones tecnológicas, como el riego por goteo y los sistemas de monitoreo inteligente, están ayudando a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de estos sistemas, asegurando que sigan desempeñando un papel vital en la agricultura global en las próximas décadas. A continuación, se mostrarán imágenes de redes de riego en la agricultura:

**Figura 8**



*"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"*  
 Universidad de Pamplona  
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia  
 Tels: (+57) 3153429495 - 3160244475  
[www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co)



## Sistema de riesgo con tuberías termoplásticas



*Nota. Prakor. (2020). Sistema de riesgo con tuberías termoplásticas [Fotografía]. <https://prakor.com/tipos-de-tuberias-para-un-sistema-de-riego-por-goteo-agricola/>*

**Figura 9**



## Instalaciones de riego desmontables para cultivos esporádicos



*Nota. Lozano (2018). Instalación de redes de riego desmontables para cultivos esporádicos. [Fotografía]*  
<https://www.agromasan.com/instalacion-de-redes-de-riego-desmontables-para-cultivos-esporadicos/>

### 4.1.5 Obras de Protección Contra Inundaciones

#### 4.1.5.1 Diques

Los diques son estructuras de ingeniería hidráulica que se construyen con el objetivo principal de controlar o contener el flujo de agua en ríos, lagos, mares o costas, y prevenir inundaciones o desbordamientos en áreas cercanas. Son una barrera física que se levanta para proteger tierras bajas o áreas costeras, pero también pueden utilizarse para otros fines, como el almacenamiento de agua, la protección de infraestructuras y la generación de energía hidroeléctrica en algunas circunstancias. Los diques han sido utilizados desde tiempos antiguos para controlar el flujo del agua y proteger las comunidades humanas de desastres naturales como



las inundaciones. Históricamente, algunas de las civilizaciones más avanzadas en el uso de diques fueron los egipcios, quienes los utilizaban para regular las crecidas del Nilo, y los neerlandeses, conocidos por sus vastas redes de diques que permiten a grandes extensiones de su territorio estar bajo el nivel del mar sin ser inundadas.

Un dique se construye típicamente en áreas donde la tierra está en riesgo de ser inundada debido a la proximidad a cuerpos de agua. Existen diferentes tipos de diques según su función y su ubicación. Uno de los tipos más comunes es el dique fluvial, que se erige a lo largo de ríos y arroyos para evitar que el agua se desborde durante épocas de crecidas. Este tipo de dique es particularmente importante en regiones con estaciones lluviosas intensas o deshielos rápidos, que pueden incrementar significativamente el caudal de los ríos y poner en peligro las tierras adyacentes. Otro tipo es el dique marino o costero, que se construye en las costas para proteger las áreas urbanas y rurales de la subida del nivel del mar, marejadas o tsunamis. Estos diques suelen ser más robustos que los diques fluviales, ya que deben soportar no solo el peso del agua, sino también las fuerzas dinámicas de las olas y las corrientes oceánicas. Los diques de contención son estructuras similares que se utilizan para controlar cuerpos de agua creados por el hombre, como embalses o estanques. Estos diques permiten retener el agua en un área determinada para su uso en el riego, la generación de electricidad o el abastecimiento de agua potable. El diseño y la construcción de un dique dependen de varios factores, incluidos el tamaño del cuerpo de agua que se va a controlar, la topografía del terreno, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Los diques suelen estar hechos de tierra compactada, aunque también pueden incluir materiales como piedra, concreto o materiales geotécnicos modernos que mejoran su resistencia. En muchos casos, los diques tienen una capa de impermeabilización para evitar que el agua los atraviese, y su estructura está diseñada con una pendiente suave para dispersar la presión del agua y evitar daños. (Yamo, 2023)

La seguridad y el mantenimiento de los diques son aspectos cruciales. Si un dique falla, puede causar desastres devastadores, como inundaciones masivas que arrasen con hogares,



cultivos y la infraestructura local. Las inspecciones regulares y el monitoreo constante de los diques son esenciales para detectar cualquier problema estructural, como filtraciones, grietas o erosión. Además, en algunas regiones, los diques están equipados con sistemas de drenaje que permiten liberar el exceso de agua controladamente, evitando que la estructura colapse por la presión. En términos de impacto ambiental, la construcción de diques puede tener tanto beneficios como desventajas. Por un lado, permiten proteger a las comunidades humanas y las tierras agrícolas de las inundaciones. Sin embargo, por otro lado, pueden alterar el flujo natural de los ríos y afectar los ecosistemas acuáticos. La creación de diques a lo largo de un río puede interrumpir los ciclos migratorios de ciertas especies de peces o cambiar la sedimentación natural, lo que puede tener efectos adversos en los hábitats río abajo. Por ello, los proyectos modernos de construcción de diques a menudo incluyen estudios de impacto ambiental para minimizar sus efectos negativos sobre el entorno natural. En la actualidad, el cambio climático está incrementando los desafíos para los diques. La subida del nivel del mar, las tormentas más intensas y las lluvias más irregulares hacen que la planificación y construcción de diques sea más crucial que nunca. En muchas regiones costeras, se están reforzando los diques existentes o se están construyendo nuevas estructuras con el fin de proteger las comunidades contra el aumento de los riesgos de inundación. (Reyna, 2013)

Los diques son estructuras esenciales en la gestión de recursos hídricos y la protección de las áreas cercanas a cuerpos de agua. A través de su diseño adecuado, construcción robusta y mantenimiento constante, los diques permiten a las comunidades humanas vivir y desarrollarse en áreas que, de otro modo, estarían expuestas a graves riesgos por inundaciones. Sin embargo, su construcción y operación deben equilibrarse cuidadosamente con la preservación del medio ambiente y la adaptación a los nuevos desafíos climáticos que enfrentamos en el siglo XXI.

A continuación, se adjunta la imagen de un dique en Córdoba llamado “dique los alazanes”



**Figura 10**

**Dique en Córdoba llamado “dique los alazanes”**



*Nota. Cinto, C. (2021). dique en Córdoba llamado “dique los alazanes” [Fotografía].  
[https://www.cadena3.com/noticia/cordoba/6-diques-para-visitar-un-fin-de-semana-en-cordoba\\_293420](https://www.cadena3.com/noticia/cordoba/6-diques-para-visitar-un-fin-de-semana-en-cordoba_293420)*



#### 4.1.5.2 Aliviaderos

Los aliviaderos son estructuras hidráulicas diseñadas para permitir el desvío controlado de exceso de agua en presas, embalses u otras obras hidráulicas. Su función principal es proteger la estructura principal, como una presa, del riesgo de sobrecarga durante eventos como lluvias intensas, tormentas o deshielos que pueden aumentar drásticamente el nivel de agua. Los aliviaderos actúan como válvulas de seguridad, liberando el agua excedente de manera controlada para evitar el desbordamiento y posibles daños estructurales o inundaciones aguas abajo. Un aliviadero se sitúa en el punto más alto de una presa o embalse, permitiendo que el agua fluya cuando el nivel de este supera un determinado umbral. Este umbral está cuidadosamente calculado para garantizar que el aliviadero actúe solo cuando sea necesario. Existen diferentes tipos de aliviaderos, y su diseño puede variar según las características del proyecto hidráulico, el volumen de agua que debe manejar, y la topografía del lugar. (García, 1995)

El diseño de un aliviadero debe ser extremadamente robusto y eficiente, ya que, durante una situación de emergencia, puede tener que manejar grandes caudales de agua a alta velocidad. Por lo general, están contruidos de hormigón reforzado o materiales altamente resistentes, ya que deben soportar fuerzas de gran magnitud sin sufrir daños o desgaste excesivo. Entre los tipos de aliviaderos más comunes se encuentran los aliviaderos de vertedero, los aliviaderos de compuerta y los aliviaderos de sifón. Los aliviaderos de vertedero son los más simples y consisten en una estructura fija a través de la cual el agua fluye cuando supera el nivel del vertedero. Los aliviaderos de compuerta, por su parte, permiten un mayor control, ya que el flujo de agua se puede regular mediante la apertura o cierre de compuertas según las necesidades del momento. Finalmente, los aliviaderos de sifón funcionan utilizando el principio de un sifón, permitiendo que el agua fluya por una tubería una vez que se ha alcanzado un nivel de agua determinado. (Pardo, 1994)

Una característica crucial en el diseño de un aliviadero es su capacidad para disipar la energía del agua que fluye a alta velocidad. Al pasar por el aliviadero, el agua puede generar una



gran cantidad de energía cinética, que, si no se disipa adecuadamente, puede causar erosión o daños en la estructura aguas abajo. Para esto, muchos aliviaderos incluyen cámaras de disipación de energía o estructuras especiales que rompen el flujo del agua, reduciendo su velocidad antes de que salga del sistema. El mantenimiento de los aliviaderos es esencial para garantizar su correcto funcionamiento en caso de emergencia. Cualquier obstrucción en la estructura, como sedimentos o escombros, puede impedir que el aliviadero funcione correctamente, lo que podría llevar a un riesgo significativo de inundación o daño a la presa. Por esta razón, las autoridades responsables de la gestión de las presas y embalses realizan inspecciones regulares de los aliviaderos para asegurarse de que estén en condiciones óptimas. (Andes, 2006)

Los aliviaderos también juegan un papel fundamental en la gestión de emergencias en presas. Si bien su función principal es evitar que el nivel de agua exceda los límites seguros, en situaciones críticas, los aliviaderos permiten liberar agua de manera controlada para evitar que una presa o embalse colapse. Esto es especialmente importante en regiones donde las lluvias intensas o las tormentas pueden provocar un aumento repentino en los niveles de agua. Otro aspecto relevante es el impacto ambiental que los aliviaderos pueden tener en los ecosistemas aguas abajo. Un vertido controlado de grandes cantidades de agua puede afectar a las especies acuáticas y a la flora circundante, por lo que es importante que el diseño y operación de los aliviaderos tenga en cuenta estos factores para minimizar posibles daños ecológicos. (Piñero, 2020)

Los aliviaderos son componentes críticos en la seguridad y operación de presas y embalses. Su diseño robusto, capacidad de gestión de grandes volúmenes de agua y mecanismos para disipar la energía hacen que sean esenciales para prevenir desastres en situaciones de crecidas o emergencias. El mantenimiento adecuado y el monitoreo constante de estas estructuras son fundamentales para garantizar su buen funcionamiento y protección de las comunidades y ecosistemas circundantes. A continuación, se muestra dos estructuras más comunes en los aliviaderos



**Figura 11**

### **Aliviadores con forma circular**



Gonzales (2017). Aliviadores con forma circular [Fotografía]. <https://www.arsloca.com/para-que-sirven-los-aliviaderos/>



#### 4.1.5.3 Cárcamos de Bombeo:

Los cárcamos de bombeo son instalaciones hidráulicas que se utilizan para recoger y elevar líquidos, principalmente aguas residuales o pluviales, desde una cota más baja a una más alta, con el objetivo de facilitar su conducción hacia estaciones de tratamiento o redes de distribución. Son una parte fundamental en los sistemas de drenaje y alcantarillado, sobre todo en terrenos donde la topografía no permite un flujo por gravedad de los líquidos.

La función principal de un cárcamo de bombeo es superar las limitaciones impuestas por la gravedad en zonas donde el terreno es muy plano, bajo el nivel del mar, o presenta desniveles que dificultan el flujo natural del agua. En estos casos, las aguas residuales, pluviales o industriales se acumulan en un depósito, conocido como "cárcamo", y son impulsadas por bombas hacia conductos elevados que las transportan hacia el lugar donde se tratarán o evacuarán. El diseño de un cárcamo de bombeo incluye varios componentes clave, entre los que se destacan el pozo de bombeo o depósito, las bombas, las tuberías de impulsión y succión, las válvulas de control y el equipo eléctrico y de automatización. El pozo de bombeo es el lugar donde se recoge el agua y generalmente está diseñado con una capacidad suficiente para almacenar una cierta cantidad de agua antes de que sea bombeada. La elección de la bomba adecuada depende de varios factores, como el tipo de líquido a bombear, el caudal necesario, la altura a la que se debe elevar el líquido y las condiciones ambientales. Las bombas que se utilizan en los cárcamos de bombeo pueden ser de diversos tipos, como bombas centrífugas, bombas sumergibles o bombas de desplazamiento positivo, dependiendo de las características del sistema y del líquido a transportar. Las bombas centrífugas son las más comunes, ya que permiten manejar grandes volúmenes de agua con eficiencia. Sin embargo, las bombas sumergibles son preferidas cuando el espacio es limitado o cuando se necesita reducir el ruido y el mantenimiento. Este tipo de bombas están diseñadas para trabajar bajo el agua y se instalan directamente en el cárcamo, lo que facilita su funcionamiento en entornos difíciles. (De Jesús, 1991)



El control automático es otro elemento crucial en los cárcamos de bombeo modernos. Muchos de estos sistemas están equipados con sensores de nivel de agua y sistemas de control programables que activan o desactivan las bombas según sea necesario. Esto garantiza un funcionamiento eficiente y reduce el riesgo de desbordamiento o falla del sistema. Además, estos sistemas automáticos permiten monitorear en tiempo real las condiciones del cárcamo, como la temperatura, el caudal, la presión y el consumo de energía, lo que facilita la detección temprana de problemas y el mantenimiento preventivo. Uno de los mayores desafíos que enfrentan los cárcamos de bombeo es la gestión de sólidos y residuos. Las aguas residuales suelen contener materiales como arena, grava, basura o desechos industriales que pueden dañar las bombas o reducir su eficiencia. Para evitar estos problemas, muchos cárcamos están equipados con rejillas de cribado o sistemas de filtración que retienen los sólidos antes de que lleguen a las bombas. En algunos casos, también se instalan sistemas de desarenado para eliminar partículas pesadas que podrían acumularse en el fondo del cárcamo y causar problemas operativos. (Lozano, 1990)

El mantenimiento es esencial para garantizar el buen funcionamiento de un cárcamo de bombeo. Las bombas, válvulas y sistemas eléctricos deben ser inspeccionados periódicamente para evitar fallos inesperados. Las obstrucciones en las tuberías o el desgaste de los componentes pueden reducir la eficiencia del sistema y aumentar el consumo de energía, por lo que es importante llevar a cabo tareas de limpieza y reparación de manera regular. Además, en caso de que las bombas fallen o el cárcamo se inunde, es crucial contar con planes de contingencia y bombas de respaldo para garantizar la continuidad del servicio. Desde el punto de vista ambiental, los cárcamos de bombeo desempeñan un papel fundamental en la gestión sostenible del agua, ya que permiten controlar y tratar adecuadamente las aguas residuales, evitando la contaminación de ríos, lagos o acuíferos. Sin embargo, también es importante tener en cuenta el consumo energético de estas instalaciones, ya que las bombas pueden consumir grandes cantidades de electricidad. Por esta razón, en los últimos años se ha impulsado el desarrollo de tecnologías más



eficientes y la integración de fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, para alimentar estas instalaciones. (Guzmán, 2014)

Los cárcamos de bombeo son una pieza clave en las infraestructuras hidráulicas de cualquier ciudad o industria, especialmente en aquellas áreas donde el terreno o la topografía impiden el flujo natural del agua. Su diseño robusto, la elección adecuada de bombas, el uso de tecnologías de control automático y el mantenimiento preventivo son factores cruciales para garantizar su eficiencia y evitar problemas operativos. Además, su correcto funcionamiento contribuye a la protección del medio ambiente al permitir la gestión adecuada de las aguas residuales y pluviales. A continuación, se adjunta una imagen de un cárcamo de bombeo circular

**Figura 12**

### **Cárcamo de bombeo circular (Bomba sumergible)**



Martínez, (2020). Cárcamo de bombeo circular (bombas sumergibles). [Fotografía] YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=1Xs03dKiezI>



#### 4.1.5.4 Canales de Alivio o Desviación:

Los canales de alivio o desviación son estructuras hidráulicas diseñadas para desviar el exceso de agua de un río, lago o embalse con el fin de evitar inundaciones o daños a infraestructuras cercanas. Su función principal es proporcionar una ruta alternativa para el agua en momentos de crecidas o caudales excesivos, protegiendo así las áreas urbanas, agrícolas o industriales situadas aguas abajo. Estos canales son fundamentales en la gestión del flujo de agua durante eventos climáticos extremos, como tormentas intensas o el deshielo de glaciares. (Waisman, 2016)

El diseño de un canal de alivio implica varios factores, como la capacidad para manejar grandes volúmenes de agua, la pendiente del terreno y las características geológicas del área. Estos canales se construyen de manera que el agua pueda fluir rápidamente y de forma controlada, evitando que se acumulen presiones que podrían dañar las infraestructuras cercanas. Su tamaño y longitud dependen de la cantidad de agua que deben desviar y del espacio disponible para su construcción. Los canales de alivio se utilizan comúnmente en sistemas de presas o embalses, donde el agua acumulada puede exceder la capacidad de almacenamiento durante eventos climáticos adversos. En estas situaciones, el canal de alivio actúa como una válvula de escape, canalizando el agua excedente hacia un área de menor riesgo, como un río más grande, el mar o un sistema de lagunas. Este proceso protege la estructura de la presa y evita inundaciones aguas abajo. Un aspecto crucial en la construcción de estos canales es la estabilidad de las orillas y el control de la erosión. Dado que el flujo de agua a través de estos canales puede ser extremadamente rápido, es necesario reforzar las paredes del canal con materiales como hormigón, piedra o vegetación resistente para prevenir el colapso de las orillas. En algunos casos, se incorporan sistemas de disipación de energía para reducir la velocidad del agua y mitigar el riesgo de erosión. (Lemus, 2004)



Además, los canales de alivio pueden tener impactos significativos en el medio ambiente, especialmente en la ecología de los ríos y áreas circundantes. Desviar grandes volúmenes de agua puede alterar los hábitats de flora y fauna acuática, cambiar los patrones de sedimentación y afectar la calidad del agua. Por esta razón, los proyectos modernos de construcción de canales de alivio suelen incluir estudios de impacto ambiental para minimizar estos efectos y, en algunos casos, implementar medidas de compensación ecológica, como la creación de humedales artificiales o zonas de amortiguación. Los canales de desviación, por otro lado, tienen un propósito similar, pero a menudo se construyen con la finalidad de redirigir el flujo de agua permanentemente en lugar de solo durante eventos extremos. En muchos proyectos hidráulicos, los canales de desviación se utilizan para modificar el curso natural de un río o arroyo con el fin de permitir la construcción de infraestructuras como presas, carreteras o áreas urbanizadas. Uno de los ejemplos más emblemáticos de la utilización de canales de alivio y desviación es el sistema de control de inundaciones del río Misisipi en Estados Unidos, donde una serie de canales artificiales ha sido diseñada para desviar el exceso de agua del río hacia áreas seguras, protegiendo así vastas extensiones de territorio agrícola y urbano. (Pizarro, 2004)

Los canales de alivio o desviación son componentes esenciales en la gestión de recursos hídricos, diseñados para mitigar los riesgos de inundación y proteger tanto infraestructuras como comunidades humanas. Su construcción y operación deben equilibrarse con consideraciones medioambientales, y su mantenimiento es clave para garantizar su funcionalidad a largo plazo. A continuación, se muestra la imagen de un canal que cumple las dos funciones:



**Figura 13**

### Canal de alivio



SDA. (2014). Canal de alivio. [Fotografía] <https://thumbs.dreamstime.com/z/vertedero-del-agua-43661131.jpg?w=992>



## 4.1.6 Obras de Control de Caudales

### 4.1.6.1 Vertederos:

Los vertederos son estructuras hidráulicas diseñadas para permitir el paso controlado del agua excedente en presas, embalses o canales, evitando así que los niveles de agua superen límites seguros y causen daños estructurales o inundaciones. Funcionan como una válvula de seguridad, permitiendo que el agua fluya libremente cuando alcanza un nivel crítico, protegiendo tanto la estructura de contención como las áreas situadas aguas abajo. En una presa o embalse, el vertedero está ubicado en la parte superior de la estructura, a menudo construido de hormigón u otros materiales resistentes, para garantizar que soporte el flujo del agua en situaciones de alta presión. Su función es crucial, especialmente durante lluvias intensas, tormentas o deshielos que incrementan el caudal de agua de forma rápida. Al liberar el exceso de agua, el vertedero ayuda a evitar que la presa se vea comprometida, lo que podría causar fallas catastróficas. (Gutiérrez, 2019)

Los vertederos pueden ser de varios tipos según el diseño y la función que deban cumplir. El tipo más simple es el vertedero libre o fijo, que permite el paso del agua cuando el nivel del embalse supera el borde del vertedero. Este tipo de vertedero es muy común en pequeñas presas donde no se requiere un control activo del caudal. Sin embargo, en estructuras más grandes y complejas, como en embalses de gran capacidad, se suelen utilizar vertederos controlados mediante compuertas o válvulas que permiten regular el flujo de agua de manera precisa. Esto es particularmente útil en presas que deben mantener un equilibrio entre la protección contra inundaciones y la conservación del agua para su uso en riego, generación de energía o suministro de agua potable. Los vertederos no solo regulan el nivel del agua, sino que también están diseñados para disipar la energía del flujo de agua, especialmente cuando el caudal es muy alto. Sin medidas adecuadas para reducir la velocidad y energía del agua al salir del vertedero, el flujo podría erosionar el suelo y dañar las estructuras cercanas. Para ello, se suelen implementar sistemas de disipación de energía, como cuencas de amortiguación o saltos de esquí, que



dispersan la energía y controlan la velocidad del agua al ingresar en los cauces naturales. Desde un punto de vista técnico, el diseño de un vertedero debe considerar múltiples factores como el caudal máximo esperado, la capacidad del embalse, la topografía del terreno y los posibles impactos aguas abajo. En casos donde las crecidas son muy probables o extremas, el diseño del vertedero puede ser más elaborado, incorporando cámaras de estabilización y estructuras adicionales para manejar flujos inusualmente altos. (Borcenilla, 2012)

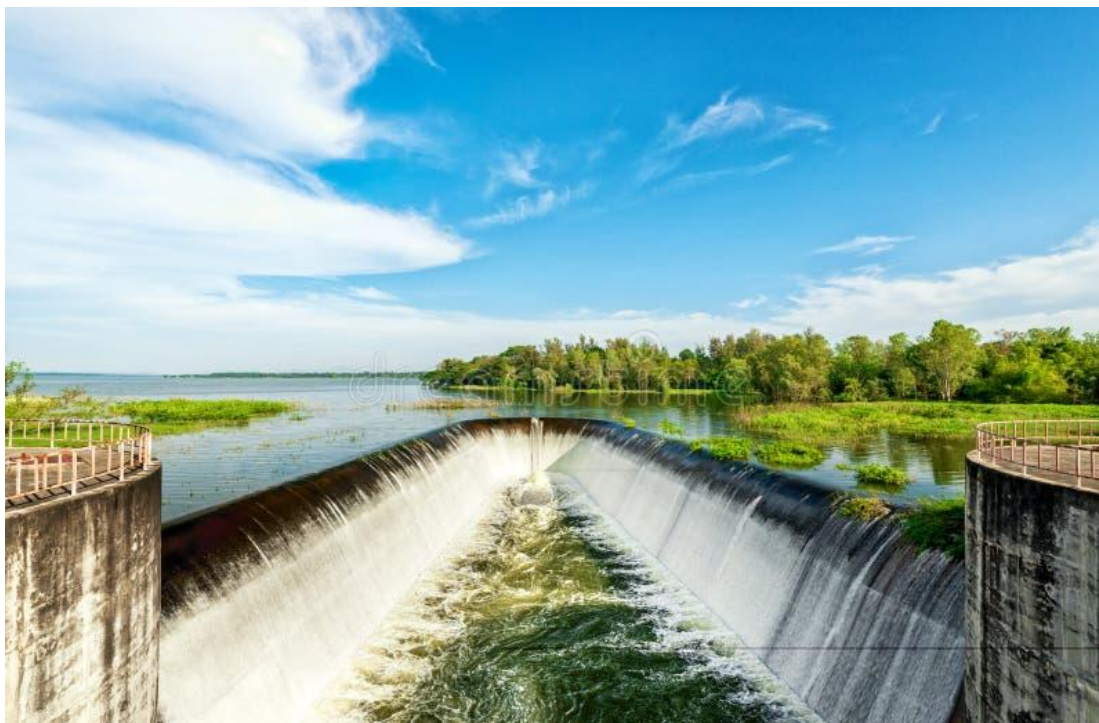
En cuanto a su función en la gestión de emergencias, los vertederos son componentes críticos en la operación de presas y embalses. Un vertedero bien diseñado y mantenido puede prevenir desastres como desbordamientos o fallos estructurales de presas, que a menudo pueden causar daños devastadores a la infraestructura y a las comunidades cercanas. Por ello, la inspección y el mantenimiento regular de los vertederos son vitales para asegurar su correcto funcionamiento. Incluso una pequeña obstrucción en el vertedero, como acumulación de escombros o sedimentos, podría comprometer su capacidad para evacuar el exceso de agua en una situación crítica. Desde el punto de vista ambiental, los vertederos también pueden tener implicaciones significativas. El flujo de grandes volúmenes de agua desde un embalse a través de un vertedero puede alterar los ecosistemas aguas abajo, especialmente si se produce un cambio brusco en el caudal del río o en los niveles de sedimentos. Para minimizar estos efectos, algunos vertederos están diseñados para operar de manera más gradual, permitiendo que los ecosistemas acuáticos se adapten al cambio en los caudales. (Nengoue, 2016)

Los vertederos son estructuras esenciales en la ingeniería hidráulica para la gestión segura de los recursos hídricos y la protección de las infraestructuras. Su correcto diseño, mantenimiento y operación no solo aseguran la estabilidad de presas y embalses, sino que también ayudan a proteger a las poblaciones y los ecosistemas de los efectos adversos de inundaciones y desbordamientos. A continuación, se muestran imágenes de vertederos



**Figura 14**

### **Vertedero utilizado como aliviadero**



*Nota. VERTEDEROS HIDRAÚLICOS. (2019). Vertedero utilizado como aliviadero Emaze Presentations [Fotografía]. <https://app.emaze.com/@AOFFOQLIZ#/1>*



**Figura 15**

### **Vertedero en zona ganadera**



*Nota. VERTEDEROS HIDRAÚLICOS. (2019). Vertedero en zona ganadera [Fotografía].*  
<https://app.emaze.com/@AOFFOQLIZ#/1>

#### **4.1.6.2 Esclusas:**

Las esclusas son dispositivos hidráulicos diseñados para permitir el tránsito de embarcaciones entre diferentes niveles de agua en canales, ríos o cuerpos de agua, especialmente cuando estos se encuentran en terrenos con desniveles significativos. Una esclusa consiste en una serie de cámaras cerradas entre dos puertas que controlan el flujo de agua, permitiendo elevar o descender un barco según sea necesario para continuar su viaje. Son componentes esenciales en



la navegación fluvial y en los sistemas de canales navegables, facilitando el transporte eficiente de personas y mercancías a través de regiones montañosas o con variaciones de altitud en los cuerpos de agua. El funcionamiento de una esclusa es relativamente sencillo en principio, pero implica una ingeniería precisa. Cuando un barco se aproxima a una esclusa desde un nivel más bajo, la cámara de la esclusa se llena de agua hasta alcanzar el nivel del cuerpo de agua superior. Una vez que el nivel del agua dentro de la esclusa es igual al nivel aguas arriba, las puertas superiores se abren y el barco puede continuar su trayecto. De manera similar, cuando un barco desciende, la cámara se vacía para alcanzar el nivel de agua más bajo antes de abrir las puertas inferiores. El canal de Panamá es uno de los ejemplos más famosos del uso de esclusas a gran escala. Este sistema conecta el océano Atlántico con el Pacífico, permitiendo a los barcos cruzar a través de una serie de esclusas que elevan y descienden las embarcaciones por más de 26 metros. Sin estas esclusas, los barcos tendrían que rodear el continente sudamericano, lo que incrementaría considerablemente el tiempo y costo del transporte. (Manfredo, 2006)

Existen varios tipos de esclusas, dependiendo de su diseño y tamaño. Las esclusas de navegación son las más comunes y permiten a los barcos pasar de un nivel a otro en canales artificiales o ríos. Otro tipo son las esclusas de marea, que se utilizan en áreas donde la diferencia de nivel entre la marea alta y baja es significativa, permitiendo que los barcos entren o salgan de puertos en condiciones seguras. También existen las esclusas de derivación, que se utilizan para desviar el agua en presas y embalses. El proceso de construcción de una esclusa implica un análisis detallado del terreno, la geología, la hidrología y el tipo de tráfico que se espera. Estas estructuras deben ser lo suficientemente resistentes para soportar no solo el peso del agua y las embarcaciones, sino también las fluctuaciones de caudal, las variaciones de nivel y las condiciones climáticas extremas. Materiales como el hormigón reforzado, acero y sistemas de sellado avanzados se utilizan en su construcción para asegurar la durabilidad y la capacidad de manejo de grandes volúmenes de agua. Las esclusas también requieren sistemas de compuertas altamente efectivos y mecanismos de bombeo para gestionar el llenado y vaciado de las cámaras.



En algunas esclusas, el proceso de cambio de nivel se realiza simplemente mediante la apertura de compuertas, permitiendo que el agua fluya naturalmente dentro o fuera de la cámara. En otros casos, especialmente cuando se manejan grandes volúmenes de agua o hay que superar grandes desniveles, se emplean bombas para mover el agua de un lado a otro. En términos históricos, las esclusas han sido una parte integral del desarrollo de la infraestructura de transporte desde la Edad Media. Los canales de navegación construidos en Europa durante el siglo XVIII, como el Canal de Languedoc en Francia, fueron pioneros en el uso de esclusas para facilitar el comercio. En esos tiempos, el transporte por vía fluvial era una de las formas más eficientes de mover mercancías pesadas como madera, carbón y trigo, y las esclusas jugaron un papel clave al permitir que los barcos navegaran por terrenos montañosos o con diferencias de altitud. (Fonseca, 2023)

El mantenimiento de las esclusas es un aspecto vital para su operación a largo plazo. Dado que están constantemente expuestas al agua, las compuertas y los mecanismos hidráulicos pueden sufrir corrosión y desgaste. El mantenimiento regular incluye la revisión de los sistemas de sellado, el control de la corrosión en las partes metálicas y la inspección de las paredes de la esclusa para prevenir la erosión o las fugas. Las esclusas modernas a menudo están equipadas con sensores que monitorizan el estado de la estructura y los mecanismos, alertando a los operadores sobre posibles problemas antes de que afecten su funcionamiento. Además de su importancia en la navegación, las esclusas también tienen un impacto significativo en el medio ambiente. Al modificar el flujo natural de los ríos, pueden alterar los ecosistemas acuáticos, afectando a la fauna y la flora local. En algunos casos, las esclusas actúan como barreras para el movimiento de especies de peces, lo que puede interrumpir los ciclos migratorios y de reproducción. Para mitigar estos efectos, algunos sistemas de esclusas incluyen pasos para peces, que permiten a las especies migratorias sortear la barrera que representa la esclusa y continuar su recorrido aguas arriba o aguas abajo. (González, 1993) A continuación, se muestra en la siguiente figura una imagen de una esclusa simple:



**Figura 16**

### **Esclusa simple en zona urbana**



*Civil, I. (2015). Esclusa simple en zona urbana. <https://introingenieriacivil.blogspot.com/2012/02/esclusa.html>*



## 4.1.7 Obras de Evacuación o Desagüe

### 4.1.7.1 Sistemas de Alcantarillado:

Los sistemas de alcantarillado son infraestructuras diseñadas para recolectar, transportar y, en muchos casos, tratar las aguas residuales y pluviales provenientes de zonas urbanas, industriales o agrícolas, antes de ser devueltas al medio ambiente o reutilizadas. Su función principal es garantizar la salud pública, evitando la acumulación de aguas contaminadas en las calles, y proteger el medio ambiente de la contaminación por desechos sólidos, productos químicos y otros contaminantes. Estos sistemas son esenciales para el desarrollo de las ciudades modernas, al proporcionar un mecanismo seguro y eficiente para la gestión de aguas residuales y aguas pluviales. El alcantarillado está compuesto por una red de tuberías, canales y estaciones de bombeo que transportan el agua desde los puntos de origen (viviendas, industrias, calles) hacia las plantas de tratamiento o puntos de descarga. (Moreira, 2020)

El sistema de alcantarillado sanitario se encarga específicamente de las aguas residuales domésticas e industriales, es decir, aquellas aguas que han sido contaminadas por el uso humano o industrial, como el agua proveniente de inodoros, duchas, cocinas o procesos de manufactura. Estas aguas contienen una alta carga de contaminantes orgánicos, bacterias, productos químicos y sólidos, por lo que requieren ser tratadas adecuadamente antes de su vertido o reutilización. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son el punto final de estos sistemas, donde el agua pasa por varios procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes. El sistema de alcantarillado pluvial, por su parte, gestiona las aguas provenientes de la lluvia, conocidas como aguas de escorrentía. Este tipo de sistema está diseñado para evitar inundaciones y acumula el agua de calles, techos, estacionamientos y otras superficies urbanas impermeables, que no permiten la infiltración del agua al suelo. A diferencia del alcantarillado sanitario, este tipo de sistema no siempre requiere un tratamiento avanzado, ya que el agua pluvial suele estar menos contaminada, aunque puede arrastrar sólidos, aceites o productos químicos desde las superficies que recorre. Sin embargo, en algunas ciudades modernas, la gestión de las aguas pluviales se



combina con la de las aguas residuales, en lo que se conoce como sistema de alcantarillado combinado, lo que puede generar desafíos operativos en épocas de lluvias intensas. (Flores, 2011)

El diseño de un sistema de alcantarillado depende de varios factores, incluyendo la topografía del área, el tamaño de la población, el tipo de suelo y las condiciones climáticas. En áreas planas, por ejemplo, es común que se necesiten estaciones de bombeo para impulsar las aguas residuales a través de la red, mientras que, en áreas con pendiente, el sistema puede aprovechar la gravedad para transportar el agua de manera más eficiente. Además, las ciudades con climas lluviosos o que están cerca de cuerpos de agua deben tener sistemas de alcantarillado pluvial robustos para prevenir inundaciones y asegurar que las aguas pluviales sean gestionadas adecuadamente. Un componente clave en los sistemas de alcantarillado es el uso de pozos de inspección o registros distribuidos a lo largo de la red de tuberías. Estos puntos de acceso permiten a los equipos de mantenimiento inspeccionar, limpiar o reparar las tuberías subterráneas, que con el tiempo pueden obstruirse debido a la acumulación de sedimentos, grasas, raíces de árboles o basura. El mantenimiento regular de estos sistemas es fundamental para prevenir bloqueos que podrían causar desbordamientos, afectando la infraestructura urbana y la salud pública. Los desbordamientos de alcantarillado son uno de los principales problemas que pueden ocurrir si los sistemas no están bien diseñados o mantenidos. Estos eventos ocurren cuando las tuberías se ven sobrecargadas debido a lluvias intensas, bloqueos o fallos en las estaciones de bombeo, y pueden llevar a la liberación de aguas residuales no tratadas en calles, ríos y lagos, creando riesgos para la salud y el medio ambiente. En respuesta a estos problemas, muchas ciudades están invirtiendo en tecnologías de saneamiento sostenible, como la construcción de tanques de tormenta o sistemas de infiltración que permiten la recolección y almacenamiento temporal del agua pluvial en momentos de alto caudal, reduciendo la presión sobre los sistemas de alcantarillado. (Miculax, 2016)

A lo largo de los años, los sistemas de alcantarillado han evolucionado para incluir soluciones más sostenibles y tecnológicamente avanzadas, tales como el uso de sensores para



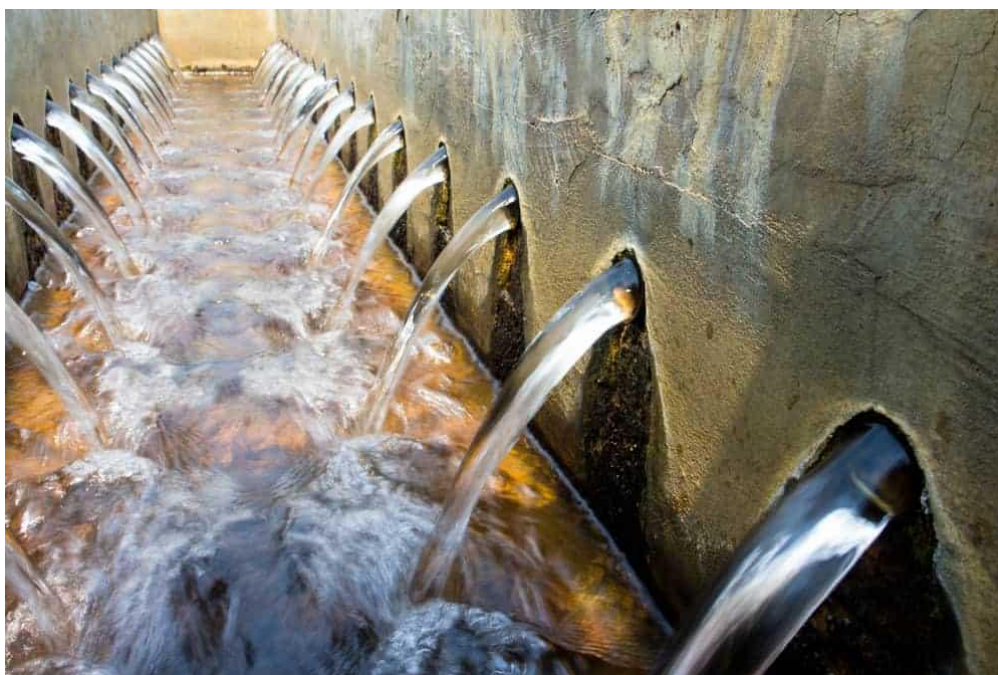
monitorear el flujo de agua en tiempo real, lo que permite a los operadores detectar problemas antes de que se conviertan en emergencias. Además, la tendencia hacia la reutilización del agua ha impulsado la construcción de sistemas que permiten recuperar y tratar las aguas residuales para ser utilizadas nuevamente en riego, procesos industriales o incluso para el consumo humano después de un tratamiento avanzado. En el futuro, el desafío para los sistemas de alcantarillado será adaptarse a los cambios climáticos, que están generando patrones de lluvias más extremos y frecuentes, así como a las necesidades crecientes de una población mundial en constante expansión. La construcción de sistemas resilientes que puedan manejar tanto grandes cantidades de agua pluvial como aguas residuales contaminadas será crucial para garantizar la sostenibilidad y la seguridad de las ciudades del siglo XXI. (Guerra, 2019)

Los sistemas de alcantarillado son infraestructuras críticas que permiten gestionar de manera segura las aguas residuales y pluviales, protegiendo la salud pública y el medio ambiente. Estos sistemas son complejos y requieren de un diseño cuidadoso, mantenimiento constante y, en muchos casos, la implementación de tecnologías avanzadas para asegurar su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.



**Figura 17**

### **Alcantarillados de aguas pluviales**



*Notal. Morales. (2018). Alcantarillados de aguas pluviales [Fotografía]. Fibrasynormasdecolombia.com. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/sistemas-de-alcantarillado/>*

#### **4.1.7.2 Sistemas de Drenaje Pluvial:**

Los sistemas de drenaje pluvial son infraestructuras diseñadas para gestionar y canalizar el agua de lluvia o aguas de escorrentía que se acumulan en áreas urbanas, suburbanas o rurales. Su principal función es prevenir inundaciones y minimizar los daños que las lluvias intensas o prolongadas puedan causar en áreas habitadas, infraestructuras o terrenos agrícolas. Al recolectar y dirigir el agua de lluvia hacia puntos de descarga como ríos, lagos, canales o sistemas de retención, los sistemas de drenaje pluvial aseguran que las ciudades y otros asentamientos no se



vean afectados por el exceso de agua, al mismo tiempo que protegen la calidad del agua y reducen la erosión del suelo. (De la cruz, 2020)

El agua de escorrentía que se genera en las ciudades, al no infiltrarse en el suelo debido a la presencia de superficies impermeables como calles, aceras y edificios, debe ser dirigida eficientemente. Las superficies impermeables evitan que el agua se absorba de manera natural, lo que provoca la acumulación de grandes cantidades de agua en poco tiempo, especialmente en zonas con infraestructura densa. Para evitar que esto cause inundaciones, los sistemas de drenaje pluvial recolectan el agua a través de una red de sumideros, cunetas, canaletas y colectores subterráneos, que llevan el agua hacia lugares específicos de evacuación o almacenamiento. El diseño de estos sistemas tiene en cuenta diversos factores, como la topografía, el tipo de suelo, la cantidad de lluvia esperada y las características del área urbana o rural. En las ciudades, las redes de drenaje pluvial pueden incluir tanto tuberías subterráneas como canales abiertos, que funcionan en conjunto para manejar tanto las lluvias normales como los eventos de tormentas más fuertes. En áreas rurales, el drenaje pluvial puede consistir en zanjas o canales naturales que desvían el agua hacia ríos o embalses. Uno de los principales desafíos en el manejo de las aguas pluviales es la cantidad de contaminantes que el agua puede arrastrar a medida que fluye por las superficies urbanas. A medida que el agua de lluvia se desplaza, puede recoger aceites, químicos, desechos sólidos y otros contaminantes de las calles y estacionamientos, lo que puede afectar la calidad del agua en los cuerpos receptores. Para mitigar este problema, los sistemas de drenaje pluvial más avanzados incorporan elementos como trampas de sedimentos, filtros y biorretención, que permiten el tratamiento preliminar del agua antes de que sea liberada al medio ambiente. (Delgado, 2017)

Otro componente esencial del sistema de drenaje pluvial son las infraestructuras verdes, diseñadas para imitar los procesos naturales de infiltración y absorción del agua. Estas infraestructuras incluyen elementos como jardines de lluvia, pavimentos permeables, techos verdes y zanjas filtrantes, que ayudan a reducir la cantidad de escorrentía al permitir que parte del



agua se infiltre en el suelo, en lugar de ser directamente canalizada hacia los sistemas de drenaje. Este tipo de soluciones no solo ayudan a prevenir inundaciones, sino que también contribuyen a la recarga de los acuíferos subterráneos, mejoran la calidad del agua y crean áreas verdes en entornos urbanos. Las cámaras de retención y los tanques de tormenta son otra solución común en el manejo del agua pluvial. Estas estructuras están diseñadas para almacenar grandes cantidades de agua durante períodos de lluvia intensa, liberándola gradualmente hacia los sistemas de drenaje o cuerpos de agua una vez que ha pasado el pico de la tormenta. De esta manera, se evitan sobrecargas en los sistemas de drenaje, que podrían provocar desbordamientos y, en casos extremos, daños significativos en la infraestructura urbana. (Morales, 2015)

El mantenimiento de los sistemas de drenaje pluvial es fundamental para garantizar su eficacia a largo plazo. Las obstrucciones en las tuberías o canales, causadas por residuos, hojas, ramas o sedimentos, pueden reducir la capacidad de los sistemas para manejar grandes volúmenes de agua, aumentando el riesgo de inundaciones locales. Por ello, las ciudades deben llevar a cabo tareas de limpieza y desobstrucción de manera regular, así como inspecciones periódicas de los componentes subterráneos del sistema. Además del mantenimiento, las ciudades deben adaptar sus sistemas de drenaje pluvial a las condiciones cambiantes derivadas del cambio climático, que ha aumentado la frecuencia y severidad de los eventos de lluvias extremas. Muchas urbes están revisando y mejorando sus infraestructuras para poder manejar las crecientes cantidades de agua, construyendo sistemas más robustos y aplicando medidas preventivas como la restauración de humedales o la ampliación de áreas verdes urbanas que ayuden a absorber el agua de manera natural. (Bach, 2019)

Los sistemas de drenaje pluvial son esenciales para la gestión del agua en áreas urbanas y rurales. Son infraestructuras críticas que no solo previenen inundaciones, sino que también contribuyen a la gestión sostenible del agua, reducen la erosión, protegen la calidad de los cuerpos de agua receptores y, en algunos casos, permiten la recarga de acuíferos subterráneos. El diseño eficiente, el mantenimiento adecuado y la incorporación de soluciones sostenibles son



fundamentales para asegurar que estos sistemas funcionen correctamente y se adapten a los desafíos del futuro. A continuación, en la siguiente figura se observa un drenaje pluvial urbano en construcción:

**Figura 18**

### **Drenaje Pluvial en Zona Urbana**



*Nota. Torcedilla. (2015). Drenaje Pluvial en Zona Urbana. [Fotografía].  
<https://th.bing.com/th/id/OIP.w5rcLhhuX5gHOGljCjq62gHaFj?rs=1&pid=ImgDetMain>*



#### 4.1.7.3 Pozos de Infiltración:

Los pozos de infiltración son estructuras diseñadas para captar y permitir que el agua de lluvia o aguas de escorrentía se infiltre de manera controlada en el subsuelo, con el objetivo de recargar los acuíferos subterráneos y reducir el volumen de agua que circula superficialmente, evitando así posibles inundaciones y erosión del suelo. Son una parte fundamental en la gestión sostenible del agua, especialmente en áreas urbanas o suburbanas donde las superficies impermeables, como pavimentos y edificios, impiden que el agua de lluvia penetre naturalmente en el suelo. (Cornejo, 2015)

El diseño de los pozos de infiltración puede variar en tamaño y complejidad, dependiendo de la cantidad de agua que se espera manejar, las características del terreno y el tipo de suelo. En su forma más básica, un pozo de infiltración consiste en un hueco o cavidad excavada en el suelo, generalmente relleno de materiales porosos como grava, que permite que el agua de lluvia fluya hacia abajo a través de las capas permeables hasta alcanzar los acuíferos subterráneos. Sin embargo, también existen versiones más complejas de estos sistemas que incluyen tuberías de distribución y cámaras de retención para optimizar el proceso de infiltración y asegurar que el agua se distribuya de manera uniforme. Una de las principales ventajas de los pozos de infiltración es que ayudan a mitigar los efectos negativos de la urbanización sobre el ciclo hidrológico natural. En áreas donde el suelo ha sido cubierto por infraestructura impermeable, como calles, estacionamientos y edificios, la cantidad de agua que puede infiltrarse naturalmente disminuye considerablemente, lo que genera grandes volúmenes de escorrentía superficial. Este exceso de agua, si no se maneja adecuadamente, puede sobrecargar los sistemas de drenaje pluvial y causar inundaciones en áreas urbanas. Los pozos de infiltración actúan como un mecanismo de compensación, permitiendo que el agua vuelva al subsuelo y ayudando a mantener el equilibrio hídrico. (Salvo, 2012)

Además de prevenir inundaciones, los pozos de infiltración contribuyen significativamente a la recarga de acuíferos, un recurso vital para muchas regiones que dependen



de las aguas subterráneas para el suministro de agua potable. En este sentido, estos sistemas no solo benefician a las áreas urbanas, sino también a las zonas rurales, donde la extracción de agua subterránea puede ser intensiva para la agricultura. Los pozos de infiltración permiten que el agua de lluvia se filtre lentamente hacia los acuíferos, promoviendo su recuperación y asegurando un suministro más sostenible de agua a largo plazo. Para asegurar la eficiencia de los pozos de infiltración, es importante que el terreno donde se construyen tenga una permeabilidad adecuada. Los suelos con una buena capacidad de infiltración, como los suelos arenosos o gravosos, son ideales para este tipo de estructuras, ya que permiten que el agua fluya libremente hacia las capas subterráneas. Sin embargo, en áreas con suelos arcillosos o compactados, que tienen una baja capacidad de infiltración, puede ser necesario mejorar el suelo mediante técnicas de acondicionamiento o utilizar estructuras adicionales que ayuden a facilitar el proceso. (de la Salud, 2003)

Otro aspecto clave en el diseño de los pozos de infiltración es el control de la calidad del agua que se infiltra. El agua de escorrentía en áreas urbanas puede contener contaminantes como aceites, productos químicos, residuos sólidos y metales pesados, que pueden llegar a los acuíferos subterráneos si no se filtran adecuadamente. Para mitigar este riesgo, los pozos de infiltración a menudo incluyen filtros o sistemas de pretratamiento que eliminan los contaminantes antes de que el agua llegue al subsuelo. Estos sistemas de pretratamiento pueden consistir en trampas de sedimentos, capas de grava y arena, o incluso vegetación que actúa como filtro natural, mejorando la calidad del agua antes de la infiltración. En áreas donde las lluvias son intensas o la cantidad de escorrentía es significativa, los pozos de infiltración pueden combinarse con otras infraestructuras de manejo del agua, como tanques de retención o biorretención, que almacenan el exceso de agua temporalmente y permiten su infiltración de manera controlada. Esto no solo ayuda a gestionar mejor las aguas pluviales durante los eventos de tormenta, sino que también reduce la presión sobre los sistemas de drenaje convencionales, que pueden verse desbordados durante lluvias fuertes. El mantenimiento de los pozos de infiltración es un aspecto crucial para

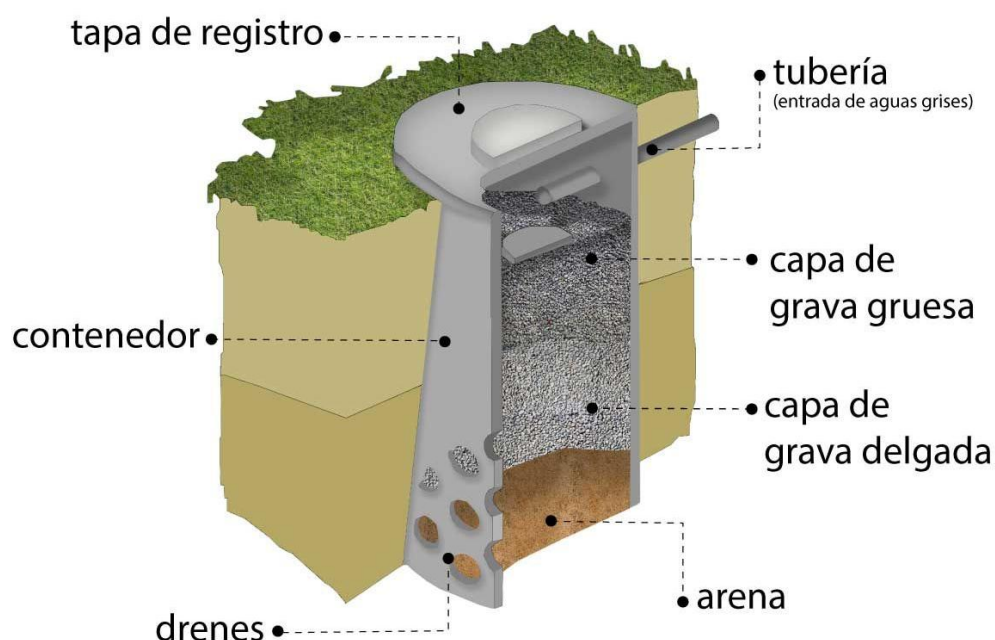


su funcionamiento a largo plazo. Con el tiempo, los sedimentos y otros residuos pueden obstruir el material poroso del pozo, reduciendo su capacidad de infiltración. Por ello, es necesario realizar limpiezas periódicas y asegurarse de que los sistemas de pretratamiento estén funcionando correctamente para prevenir la acumulación de residuos. Además, es fundamental monitorear la calidad del agua que se infiltra, especialmente en áreas industriales o urbanas donde el riesgo de contaminación es mayor. (Suarez, 2022)

Los pozos de infiltración son una solución efectiva y sostenible para la gestión de las aguas pluviales y la recarga de acuíferos subterráneos. Su diseño flexible y adaptable los hace ideales para una amplia variedad de entornos, desde áreas urbanas densamente pobladas hasta zonas rurales agrícolas. Estos sistemas no solo ayudan a mitigar los efectos negativos de la urbanización y el cambio climático sobre el ciclo del agua, sino que también proporcionan beneficios ambientales y sociales a largo plazo, al asegurar un manejo más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

**Figura 19**

### **Pozo de infiltración y sus componentes**



*Finger, A. (2012). Pozo de infiltración, y sus partes [Dibujo] <https://mx.pinterest.com/pin/854909941778692749/>*

## **4.1.8 Obras de Aprovechamiento Energético**

### **4.1.8.1 Centrales Hidroeléctricas**

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones diseñadas para generar electricidad a partir del aprovechamiento de la energía del agua en movimiento, generalmente a través de ríos o embalses. Funcionan mediante la conversión de la energía potencial del agua almacenada en



energía cinética, que luego se transforma en energía eléctrica a través de un sistema de turbinas y generadores. Este proceso se basa en la fuerza natural del agua que fluye desde una altura elevada hacia un nivel inferior, lo que permite aprovechar la energía gravitacional.

El funcionamiento básico de una central hidroeléctrica comienza con la construcción de una presa, que embalsa una gran cantidad de agua, creando un cuerpo de agua que puede ser controlado y regulado. Cuando se necesita generar electricidad, el agua almacenada se libera desde la parte superior del embalse a través de un sistema de compuertas hacia una tubería de alta presión llamada conducto forzado. Esta tubería dirige el agua a gran velocidad hacia las turbinas, que están conectadas a los generadores. Al impactar las turbinas, el agua hace que las aspas de las mismas giren, lo que a su vez activa los generadores eléctricos que convierten la energía mecánica del movimiento en electricidad. Uno de los principales beneficios de las centrales hidroeléctricas es que utilizan una fuente de energía renovable y limpia, el agua, lo que las convierte en una opción más sostenible en comparación con las centrales que utilizan combustibles fósiles. No emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ni otros gases contaminantes durante la generación de electricidad, contribuyendo de esta manera a la reducción de emisiones y a la mitigación del cambio climático. Además, las centrales hidroeléctricas son muy eficientes, ya que son capaces de convertir aproximadamente el 90% de la energía contenida en el agua en electricidad utilizable, lo que las coloca por encima de otras formas de generación de energía en términos de eficiencia energética. (Romero, 2017)

Las ventajas adicionales de las centrales hidroeléctricas incluyen su capacidad para regular los caudales de los ríos, prevenir inundaciones en áreas adyacentes y garantizar el suministro de agua en épocas de sequía, debido al control sobre el almacenamiento y liberación del agua en los embalses. Muchas de estas instalaciones también permiten el uso múltiple de los recursos hídricos, combinando la producción de energía con actividades recreativas, abastecimiento de agua potable, riego agrícola y control del flujo de los ríos. Sin embargo, la construcción de centrales hidroeléctricas no está exenta de impactos ambientales y sociales. Uno



de los mayores retos es el cambio en los ecosistemas acuáticos y terrestres que puede provocar la construcción de grandes presas y embalses. Estos proyectos suelen requerir la inundación de extensas áreas de terreno, lo que puede llevar a la pérdida de hábitats naturales, la alteración de la fauna local y el desplazamiento de poblaciones humanas. Además, los ecosistemas río abajo de las presas también pueden verse afectados, ya que los flujos naturales de agua se modifican, afectando a la flora y fauna que dependen de ellos. Otro desafío es la sedimentación que ocurre en los embalses. A lo largo del tiempo, los sedimentos arrastrados por el río pueden acumularse en la base del embalse, reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua y disminuyendo la eficiencia de la central hidroeléctrica. La gestión de estos sedimentos es una tarea complicada y costosa, ya que implica su extracción o el redireccionamiento de los mismos a través de canales específicos. (Martínez, 2021)

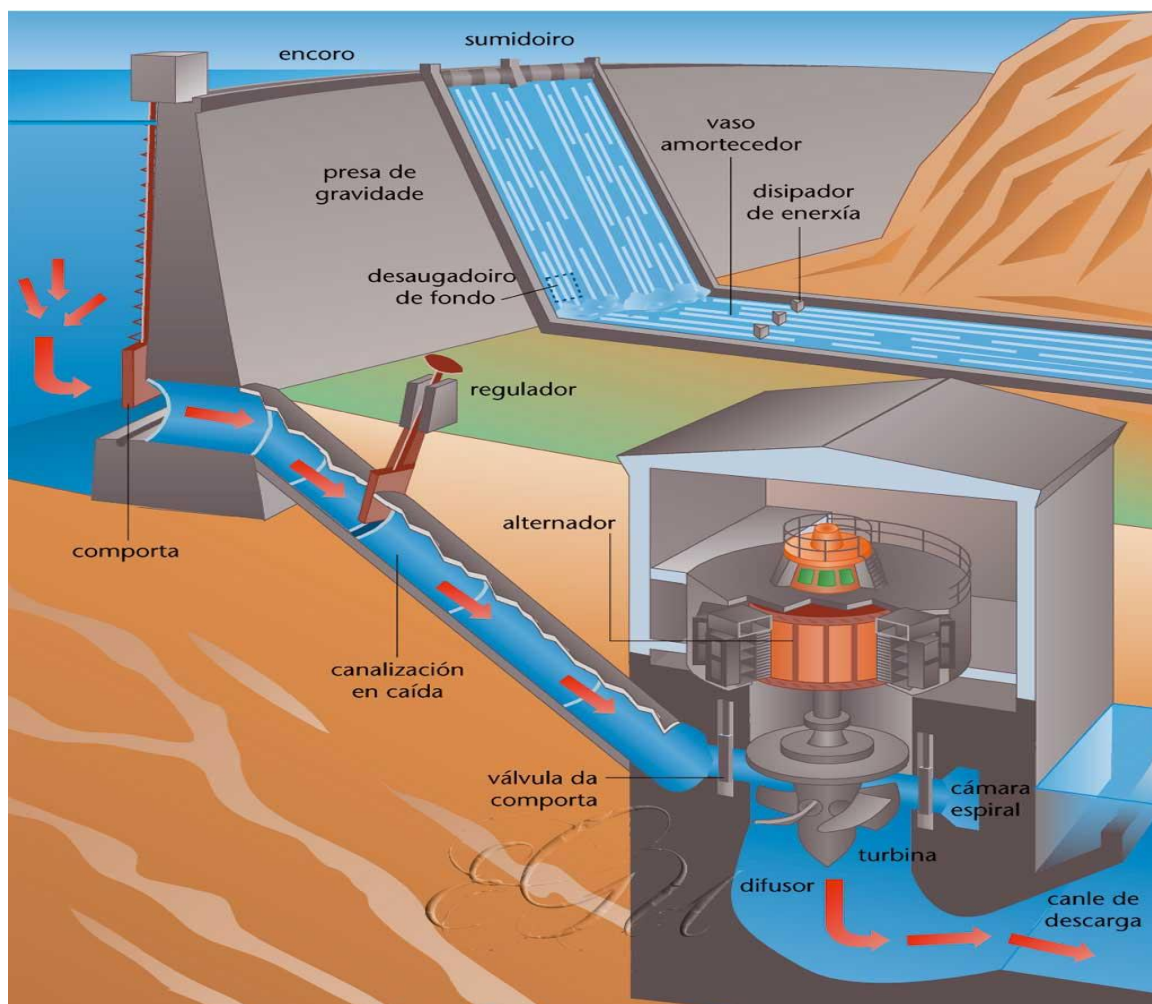
Existen varios tipos de centrales hidroeléctricas, que se clasifican principalmente según su tamaño y método de operación. Las más comunes son las centrales de embalse y las de paso de agua. Las primeras dependen de grandes cuerpos de agua embalsada, mientras que las segundas no requieren de un embalse, sino que utilizan directamente el caudal del río. Otro tipo es la central hidroeléctrica reversible, también conocida como central de bombeo, que tiene la capacidad de bombear agua desde un depósito inferior a uno superior en momentos de baja demanda eléctrica, para luego generar energía durante las horas de mayor demanda. A pesar de los desafíos y el impacto ambiental asociado, las centrales hidroeléctricas juegan un papel crucial en la matriz energética global, particularmente en países con abundantes recursos hídricos. En muchos casos, estas instalaciones se integran en redes de energía renovable, complementando otras formas de energía como la solar y la eólica, que dependen de factores climáticos. La flexibilidad de las centrales hidroeléctricas para responder rápidamente a las variaciones en la demanda de energía las convierte en una pieza clave para garantizar la estabilidad de las redes eléctricas. (Caceras, 2022)



Las centrales hidroeléctricas son una tecnología madura y eficiente para la generación de energía renovable, con numerosos beneficios tanto ambientales como económicos. No obstante, su implementación debe ser cuidadosamente planificada para minimizar los impactos sobre el medio ambiente y las comunidades locales, asegurando que el desarrollo de estas infraestructuras se realice de manera sostenible y equitativa. A continuación, se muestra una imagen que ilustra el sistema de una central hidroeléctrica.

## Figura 20

### Dibujo de una central hidroeléctrica y sus componentes



Perfil, V. T. mi. (2018). Dibujo de una central hidroeléctrica y sus componentes [Dibujo]  
<https://duqueco1.blogspot.com/2011/07/hidroelectricas.html>

**Figura 21**

**Central hidroelectrica**



Perfil, V. T. mi. (2018). central hidroeléctrica y sus componentes [Fotografía]  
<https://duquecol.blogspot.com/2011/07/hidroelectricas.html>

## 4.1.9 Obras Marítimas y Fluviales

### 4.1.9.1 Rompeolas:

Un rompeolas es una estructura costera diseñada para proteger las costas, puertos, y embarcaciones de los embates del oleaje del mar. Estas estructuras están construidas para absorber y disipar la energía de las olas antes de que lleguen a la costa o al área protegida, disminuyendo así la erosión y los daños en infraestructuras marítimas. Los rompeolas se colocan de manera estratégica cerca de la costa o en la entrada de puertos, y su principal función es actuar como una barrera que reduce la fuerza de las olas y evita que estas impacten directamente sobre las áreas que requieren protección. (Bruce, 1960)



En términos de diseño, los rompeolas pueden ser fijos o flotantes, dependiendo de las necesidades de la zona y las características del entorno. Los rompeolas fijos son construcciones permanentes que están ancladas en el fondo marino, mientras que los flotantes son estructuras que permanecen sobre la superficie del agua y se adaptan al movimiento del oleaje. Los rompeolas fijos suelen ser más comunes y consisten en una gran estructura compuesta de materiales pesados, como piedra, hormigón o acero, dispuesta de manera que absorba el impacto de las olas. Uno de los tipos más comunes de rompeolas es el rompeolas paralelo, que se sitúa paralelo a la línea de la costa y crea una zona de aguas más tranquilas entre la estructura y la costa. Otro tipo es el rompeolas de cabeza, que protege áreas específicas, como la entrada de un puerto o muelle, ubicándose en las zonas donde las olas tienen mayor impacto. En algunos casos, se construyen rompeolas aislados en el mar, sin conexión directa con la costa, con el fin de disminuir la energía de las olas antes de que estas lleguen a tierra. El diseño de un rompeolas debe tomar en cuenta diversos factores, como el tamaño y frecuencia de las olas, el tipo de costa, la profundidad del agua y las condiciones geológicas del área. La construcción de un rompeolas es un proyecto de ingeniería compleja que requiere un análisis profundo para asegurar que la estructura sea lo suficientemente fuerte como para resistir la energía del mar a lo largo del tiempo. Además, es crucial que el diseño del rompeolas no cause efectos adversos en las corrientes marinas o en los ecosistemas cercanos. En algunos casos, las alteraciones en las corrientes provocadas por estas estructuras pueden generar erosión en áreas no previstas o la acumulación de sedimentos en zonas cercanas. Los materiales utilizados en la construcción de rompeolas varían según la ubicación y las condiciones del sitio. En zonas donde el oleaje es moderado, se pueden utilizar bloques de hormigón prefabricados o estructuras de piedra. Sin embargo, en áreas donde las olas son más grandes o las condiciones climáticas son más extremas, es común que se utilicen materiales más resistentes y pesados para garantizar la durabilidad de la estructura. (Medina, 2014)



Los rompeolas no solo son importantes para la protección de infraestructuras y costas, sino que también pueden tener beneficios secundarios, como la creación de hábitats marinos. Las áreas cercanas a un rompeolas suelen convertirse en refugios para la vida marina, ya que el espacio protegido por la estructura ofrece condiciones más estables y seguras, favoreciendo la proliferación de diversas especies. Además, en algunos casos, los rompeolas se construyen con este fin en mente, utilizando diseños que permitan el crecimiento de organismos marinos y fomenten la biodiversidad. Sin embargo, los rompeolas también presentan desafíos ambientales. Las modificaciones que generan en las dinámicas costeras y en las corrientes marinas pueden tener efectos negativos si no se planifican adecuadamente. Por ejemplo, un rompimiento artificial del oleaje puede alterar la sedimentación natural y cambiar las formas de la costa. Este tipo de cambios puede afectar a largo plazo la ecología costera, alterando hábitats naturales y las poblaciones de especies marinas. Además, si no se construyen de manera correcta, los rompeolas pueden necesitar mantenimiento constante debido a los impactos continuos del mar, lo que incrementa sus costos y puede generar nuevos problemas ambientales en el futuro. (Vidal, 1994)

Los rompeolas son una solución efectiva para la protección de costas y puertos contra la fuerza de las olas. Su diseño, ubicación y materiales deben planificarse con cuidado para minimizar los impactos ambientales negativos y maximizar los beneficios de protección



**Figura 22**

### **Rompeolas en zona pesquera**



*¿Qué es un Rompeolas? (2008). Rompeolas en zona pesquera [Fotografía]*  
<https://www.porquecomoydonde.net/2008/12/que-es-un-rompeolas.html>

#### **4.1.9.2 Dársenas:**

Las dársenas son áreas o espacios dentro de los puertos o zonas portuarias que están diseñadas para la maniobra, carga, descarga y amarre de embarcaciones. Se encuentran protegidas por estructuras como rompeolas o espigones que las aíslan de las corrientes y del oleaje del mar abierto, proporcionando condiciones más tranquilas y seguras para que los barcos puedan operar sin dificultad. Estas áreas son fundamentales para la logística portuaria, ya que



facilitan la entrada y salida de barcos, permitiendo el desarrollo de actividades comerciales y operacionales.

Desde una perspectiva técnica, las dársenas se crean mediante obras de ingeniería que transforman áreas costeras o de mar abierto en espacios controlados y protegidos. Existen varios tipos de dársenas, y su clasificación depende de la función que desempeñan dentro de un puerto. Entre las más comunes están las dársenas de maniobra, las dársenas de atraque y las dársenas de carga y descarga. Cada una de estas áreas tiene características específicas adaptadas a la naturaleza de las actividades que albergan, como el movimiento de grandes contenedores o la manipulación de cargas especiales. Las dársenas de maniobra son áreas relativamente amplias dentro del puerto donde las embarcaciones pueden realizar maniobras como giros, cambios de dirección o cambios de velocidad antes de atracar o zarpar. Estas dársenas deben tener suficiente espacio y calado para permitir que los barcos, especialmente los de gran tamaño, puedan maniobrar sin restricciones. Es esencial que las dársenas de maniobra estén diseñadas considerando las dimensiones de los barcos que frecuentan el puerto, ya que un diseño inadecuado puede causar riesgos de colisión o dificultades en las operaciones. (Peñalver, 2018)

Por otro lado, las dársenas de atraque son áreas específicas donde las embarcaciones se detienen para realizar actividades de carga, descarga o mantenimiento. Estas dársenas están equipadas con muelles y otras infraestructuras necesarias para facilitar el amarre seguro de los barcos. Dependiendo del puerto, estas dársenas pueden estar diseñadas para distintos tipos de embarcaciones, desde pequeños barcos de pesca hasta grandes buques mercantes o petroleros. Además, los sistemas de amarre en las dársenas deben ser robustos para soportar las fuerzas ejercidas por el viento, la marea y las corrientes sobre los barcos. En cuanto a las dársenas de carga y descarga, estas están diseñadas específicamente para permitir que las mercancías sean transportadas eficientemente entre el barco y el puerto. En estas áreas se instalan grúas, cintas transportadoras y otros equipos industriales necesarios para movilizar grandes volúmenes de carga, como contenedores, productos a granel o mercancías especiales. La eficiencia de una



dársena de carga y descarga depende de varios factores, como la velocidad de manipulación, el tipo de infraestructura disponible y la coordinación de las operaciones logísticas. (Berrocal, 2023)

Un aspecto clave en el diseño de una dársena es el calado, que se refiere a la profundidad del agua en esa zona. El calado debe ser suficiente para permitir que los barcos más grandes puedan entrar y salir del puerto sin riesgo de encallar. A menudo, los puertos requieren dragados periódicos para mantener la profundidad adecuada en las dársenas, ya que los sedimentos arrastrados por las corrientes tienden a acumularse, disminuyendo el calado con el tiempo. Además de sus funciones comerciales, las dársenas también pueden desempeñar un papel importante en la seguridad dentro de los puertos. Al proporcionar áreas protegidas y bien definidas para las maniobras y operaciones de los barcos, se reduce el riesgo de accidentes o colisiones. Esto es particularmente importante en puertos de gran actividad, donde el tráfico de embarcaciones puede ser intenso y donde los errores en las maniobras podrían tener graves consecuencias tanto para las personas como para las mercancías. Las dársenas también son esenciales para los puertos militares o industriales, donde las actividades pueden incluir no solo la carga y descarga de mercancías, sino también el mantenimiento y reparación de embarcaciones. En estos casos, las dársenas están equipadas con instalaciones adicionales, como diques secos, talleres y estaciones de combustible, lo que permite realizar una amplia gama de actividades operativas. (Isturiz, 2019)

Las dársenas son áreas fundamentales dentro de los puertos que aseguran que las embarcaciones puedan operar de manera segura y eficiente. Desde maniobras hasta operaciones logísticas, las dársenas desempeñan un papel central en la funcionalidad de los puertos, adaptándose a las necesidades de las distintas actividades marítimas. La ingeniería y el diseño adecuado de las dársenas son cruciales para garantizar que los puertos puedan manejar el tráfico marítimo de manera efectiva, evitando congestiones y maximizando la seguridad y eficiencia en las operaciones portuarias.



**Figura 23**

**La dársena del Canal de Castilla en Valladolid.**



de Castilla, E. N. (2022). La dársena del Canal de Castilla en Valladolid vuelve a llenarse de agua. [Fotografía]. <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/darsena-canal-castilla-20220927133509-ga.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.elnor>



A lo largo de este capítulo, se ha expuesto una visión general de las diversas obras hidráulicas, cada una con sus características y funciones específicas dentro de la gestión del agua. Desde la protección de las costas mediante rompeolas hasta la distribución de agua potable a través de acueductos, estas infraestructuras son esenciales para satisfacer las necesidades hídricas de la sociedad. Además, se ha destacado cómo la correcta elección de materiales de revestimiento es un factor crucial para garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo de estas obras. En los capítulos siguientes, se profundizará en los tipos de materiales utilizados y sus propiedades, analizando cómo su aplicación en cada una de estas estructuras contribuye a la protección y prolongación de la vida útil de las obras hidráulicas.

## 4.2 Capítulo 2

En el ámbito de las obras hidráulicas, los materiales de revestimiento ocupan un lugar central en la protección y mantenimiento de las infraestructuras. Desde tiempos antiguos, han sido empleados para mejorar la durabilidad, impermeabilización y resistencia de las estructuras frente a condiciones adversas, como la acción constante del agua, la erosión y los cambios térmicos. Este capítulo se enfoca en el estudio de los diversos tipos de materiales de revestimiento, su evolución histórica y su importancia en la ingeniería civil moderna. Analizar su desarrollo no solo permite comprender cómo han mejorado las obras hidráulicas, sino también cómo las nuevas tecnologías han transformado su aplicación en busca de mayor sostenibilidad y eficiencia.

### 4.2.1 Materiales de Revestimiento

Los materiales de revestimiento son aquellos utilizados para proteger, cubrir o dar acabado a superficies en una estructura o infraestructura, con el objetivo de mejorar sus características de resistencia, durabilidad y funcionalidad. En el contexto de las obras hidráulicas, los materiales de revestimiento desempeñan un papel fundamental para preservar la integridad de las estructuras que están en contacto constante con el agua o expuestas a condiciones ambientales agresivas, como la erosión, la abrasión o las fluctuaciones de temperatura. Estos materiales son



esenciales para evitar el deterioro prematuro de las infraestructuras hidráulicas, ya que las superficies de contacto, especialmente en presas, canales, acueductos, y sistemas de drenaje, están sujetas a un desgaste constante. Sin el uso adecuado de revestimientos, las superficies expuestas sufrirían daños estructurales significativos a lo largo del tiempo, lo que afectaría no solo la vida útil de la obra, sino también su eficiencia y seguridad. (Cuestas, 2021)

Un material de revestimiento puede cumplir diversas funciones, entre las que destacan la protección contra la erosión y abrasión causada por el flujo de agua y sedimentos, la impermeabilización para evitar filtraciones y el deterioro por humedad, y la resistencia química frente a contaminantes o sustancias corrosivas presentes en el entorno. Además, estos materiales deben ser capaces de adaptarse a las variaciones climáticas, lo que significa que deben soportar cambios de temperatura extremos sin deformarse o agrietarse. Entre los tipos más comunes de materiales de revestimiento en obras hidráulicas se encuentran el concreto, el asfalto, la piedra natural y los revestimientos sintéticos como geomembranas o resinas epoxi. El concreto es ampliamente utilizado por su durabilidad y versatilidad, además de poder ser reforzado con aditivos que mejoran su impermeabilidad o resistencia a la abrasión. Las piedras naturales, como el granito o el basalto, se usan en lugares donde la resistencia a la erosión por flujo de agua es crítica, como en rompeolas o canales de alta velocidad. Los revestimientos sintéticos, por otro lado, son cada vez más populares debido a su capacidad para proporcionar una barrera impermeable y resistente a productos químicos en entornos agresivos. (Handuch, 2003)

La selección del material de revestimiento adecuado depende de varios factores, como las condiciones del entorno, el tipo de estructura y el uso previsto de la obra hidráulica. En infraestructuras expuestas a un flujo de agua constante, como canales o tuberías, es fundamental elegir un material que ofrezca una alta resistencia a la erosión y el desgaste mecánico. En cambio, en estructuras como presas o embalses, la capacidad de impermeabilización del material es clave para evitar filtraciones que comprometan la estabilidad de la estructura. Otro aspecto importante a considerar en el uso de materiales de revestimiento es la facilidad de mantenimiento. Los



materiales de revestimiento deben ser lo suficientemente duraderos para minimizar los costos y la frecuencia de reparaciones, pero también deben ser accesibles y reparables en caso de daños. En zonas remotas o de difícil acceso, los materiales de bajo mantenimiento y larga vida útil son preferibles, ya que las intervenciones pueden ser complicadas o costosas. En la actualidad, la investigación en materiales de revestimiento está orientada hacia el desarrollo de productos más eficientes y sostenibles. Los revestimientos ecológicos, que utilizan materiales reciclados o procesos de fabricación que reducen las emisiones de carbono, están ganando terreno en la industria de la construcción, incluyendo las obras hidráulicas. Además, se están investigando materiales con propiedades auto limpiantes o autorreparables, que podrían reducir aún más los costos de mantenimiento y extender la vida útil de las infraestructuras. Los materiales de revestimiento han sido utilizados desde tiempos muy antiguos para proteger y mejorar la durabilidad de diferentes estructuras, incluidas las obras hidráulicas. A lo largo de la historia, las civilizaciones han desarrollado diversas técnicas y materiales que, en función de los recursos disponibles y las necesidades de cada época, han sido aplicados para revestir, impermeabilizar y proteger infraestructuras. Desde las piedras naturales en Egipto hasta los modernos materiales compuestos, la evolución ha sido extensa y transformadora. (Martínez Valdés, 2017)

El origen de los materiales de revestimiento se remonta a civilizaciones antiguas que marcaron los primeros hitos en la ingeniería y arquitectura. Los egipcios, sumerios y romanos fueron algunas de las culturas pioneras en el desarrollo y aplicación de estos materiales con fines tanto estructurales como estéticos. Aunque no se dispone de registros exactos sobre la primera persona en utilizar estos materiales, las evidencias arqueológicas apuntan a que, alrededor del año 3000 a.C., los egipcios ya empleaban piedra natural, particularmente piedra caliza, y cal para recubrir las superficies de sus monumentos más emblemáticos, como las pirámides y los templos. Estos materiales no solo tenían una función decorativa, sino que también actuaban como una barrera protectora contra la erosión causada por factores naturales, como el viento y el agua. Las capas de piedra caliza que cubrían las pirámides, por ejemplo, estaban diseñadas para proteger las



estructuras subyacentes de la abrasión producida por el ambiente árido del desierto. En el contexto de las obras hidráulicas, los egipcios también utilizaron estos materiales de revestimiento para proteger las canalizaciones de riego y garantizar la eficiencia de sus sistemas de distribución de agua. La cal, mezclada con otros agregados, proporcionaba una capa impermeable que evitaba las filtraciones y contribuía a la conservación del agua, un recurso esencial en una civilización asentada en torno al río Nilo. Este enfoque en la durabilidad de las estructuras es un claro ejemplo de cómo los materiales de revestimiento se convirtieron en una solución tecnológica avanzada para enfrentar los desafíos climáticos y ambientales de la época. (Torres, 2006)

Los sumerios, una de las primeras civilizaciones del mundo, que floreció en la región de Mesopotamia entre los ríos Tigris y Éufrates, alrededor del tercer milenio a.C., realizaron importantes avances en la utilización de materiales de construcción para la protección de sus infraestructuras, particularmente en sus obras hidráulicas. Una de sus contribuciones más destacadas fue el uso de ladrillos cocidos y betún natural o asfalto para el revestimiento de estructuras clave como muros, canales y templos. Este betún, una sustancia pegajosa derivada del petróleo crudo, se encontraba de manera natural en la región y era conocido por sus propiedades impermeabilizantes y selladoras. El betún no solo servía como material de construcción, sino que también jugaba un papel crucial en la protección de las estructuras contra las inundaciones y la erosión, dos problemas frecuentes en una región caracterizada por la proximidad a grandes cuerpos de agua. Las técnicas de construcción de los sumerios incluían la aplicación de este material en capas gruesas sobre ladrillos cocidos, lo que aseguraba una barrera resistente al agua que prolongaba la vida útil de las infraestructuras. La ciudad de Uruk, una de las más grandes y avanzadas de la civilización sumeria, es un ejemplo notable de la aplicación de estas técnicas. Los muros que protegían la ciudad y los canales que gestionaban el flujo de agua fueron revestidos con betún, lo que evitaba la filtración de agua y la consiguiente degradación de los materiales internos de los muros. El uso del betún en los sistemas hidráulicos de Uruk era vital,



ya que los sumerios dependían en gran medida de sus canales para gestionar las inundaciones estacionales y proporcionar agua para la agricultura. Los canales, revestidos con ladrillos cocidos y sellados con betún, permitían un control más eficiente del agua, asegurando que esta llegara a los campos sin filtrarse ni erosionar las paredes del canal. Esta técnica no solo reflejaba una comprensión avanzada de los materiales, sino también de las necesidades hidráulicas específicas de una región que dependía del manejo cuidadoso de sus recursos hídricos para sobrevivir. La elección del betún como material de revestimiento se debió principalmente a su abundancia local y a su capacidad para resistir tanto la erosión física como el deterioro químico provocado por el agua. A diferencia de otros materiales que podrían haber sido más permeables o susceptibles a la degradación por el agua, el betún formaba una capa casi impenetrable que aseguraba la estabilidad de las estructuras. Esta protección adicional permitió que las obras hidráulicas sumerias, que jugaban un papel central en la organización social y económica de la civilización, resistieran las condiciones climáticas adversas y duraran más tiempo. (de García, 2000)

El legado de los romanos en el uso de materiales de revestimiento alcanzó un nivel de sofisticación que superó en gran medida a las civilizaciones anteriores, estableciendo una base sólida para las técnicas de construcción modernas. La innovación más notable de los romanos fue el desarrollo del concreto, conocido como *opus caementicium*, una mezcla que combinaba cal viva, agua, piedras trituradas y un elemento clave: la ceniza volcánica o pozzolana, que otorgaba una resistencia inigualable a las estructuras, incluso en condiciones climáticas adversas. La pozzolana permitía que el concreto se endureciera bajo el agua, lo que lo hacía ideal para la construcción de puertos, acueductos y otras infraestructuras hidráulicas. Este material se convirtió en una de las tecnologías constructivas más importantes de la época romana y permitió la creación de estructuras monumentales que han perdurado hasta nuestros días. El concreto romano no solo ofrecía resistencia al agua, sino que también era altamente durable, resistiendo los efectos del tiempo y la erosión natural. Este avance fue fundamental para las obras hidráulicas romanas, entre las que destacan los acueductos, puentes y baños termales. Un ejemplo icónico de la



aplicación de estas técnicas es el Acueducto de Segovia en España, una estructura impresionante que sigue en pie más de dos milenios después de su construcción. Este acueducto, construido entre los siglos I y II d.C., fue edificado con grandes bloques de piedra sin utilizar mortero visible, pero con la integración de un núcleo de opus caementicium para reforzar su solidez y resistencia. El mortero romano, que incluía una mezcla de cal y pozzolana, aseguraba la cohesión entre las piedras y les permitía soportar el constante flujo de agua sin desmoronarse con el tiempo. Otro ejemplo destacado de las habilidades romanas en el uso de materiales de revestimiento es el sistema de baños termales, estructuras que requerían una atención meticulosa en términos de impermeabilización. Las termas romanas estaban revestidas con una combinación de concreto y estuco que no solo garantizaba la resistencia al agua, sino que también proporcionaba un acabado suave y estéticamente agradable. Los revestimientos en las termas también incluían a menudo decoraciones en mosaico, lo que refleja la combinación de funcionalidad y estética que caracterizaba las construcciones romanas. El uso de estuco como revestimiento permitía a los romanos cubrir grandes superficies con una mezcla de cal y arena que se endurecía y se volvía impermeable al agua, siendo especialmente útil en áreas expuestas a la humedad constante. Los puentes romanos también emplearon estas técnicas avanzadas de revestimiento y construcción. (Blázquez, 2012)

El Puente de Alcántara, en España, es otro ejemplo de la aplicación del opus caementicium. Construido alrededor del 104 d.C., este puente de piedra y concreta cruza el río Tajo y ha sobrevivido a lo largo de los siglos gracias a la robustez de los materiales y a la ingeniería experta que los romanos dominaron. Los romanos comprendían la importancia del revestimiento adecuado para proteger las infraestructuras hidráulicas de la erosión del agua, por lo que no escatimaron en el uso de sus mejores técnicas en proyectos tan emblemáticos como este. El uso de ladrillos cocidos también fue perfeccionado por los romanos. Estos ladrillos, más resistentes que los utilizados en épocas anteriores, se combinaban con mortero de cal para construir tanto muros como canales. El ladrillo permitía una construcción más rápida y eficiente, mientras que el



mortero aseguraba que las estructuras fueran impermeables y estables frente al paso del agua. Los canales de agua romanos, como el Acueducto de Nimes en Francia, utilizaron ladrillos y concreto para asegurar que el agua pudiera transportarse a largas distancias sin perder calidad ni cantidad debido a filtraciones. En cuanto a los puertos, los romanos desarrollaron técnicas de construcción submarina usando opus caementicium. En el puerto de Ostia, cerca de Roma, y en otros puertos del Mediterráneo, los romanos emplearon concreto submarino para construir muelles y rompeolas que aún hoy en día son admirados por su durabilidad. Estas estructuras estaban diseñadas para resistir la acción del agua salada y las corrientes, protegiendo las embarcaciones y asegurando el comercio en todo el imperio. (Freijeiro, 1977)

En la Edad Media, el uso de materiales de revestimiento en obras hidráulicas continuó, aunque con un menor grado de innovación comparado con el periodo romano. Durante este tiempo, las técnicas empleadas eran principalmente una adaptación de las desarrolladas por los romanos, especialmente el uso de morteros a base de cal y ladrillos cocidos, que ya habían demostrado su eficacia. Estas técnicas se aplicaron en la construcción de canales, sistemas de riego y muros de contención para controlar el flujo de agua en las ciudades medievales. Aunque no hubo avances notables en la composición de los materiales, su empleo persistió, dado que eran esenciales para garantizar la durabilidad y resistencia de las infraestructuras frente a las inclemencias climáticas y los efectos del agua. A pesar de la relativa falta de innovación en este periodo, la expansión de ciudades y la necesidad de gestionar el agua llevó a una mayor aplicación de estos materiales. Los sistemas de alcantarillado en ciudades como París y Londres, aunque rudimentarios comparados con los romanos, empleaban ladrillos cocidos y mortero de cal para revestir las cloacas, permitiendo la conducción de aguas residuales y de lluvia, protegiendo a las poblaciones de inundaciones y enfermedades. (Virginia, 2020)

Con la llegada del Renacimiento, entre los siglos XV y XVI, se vivió un renacer en las artes y ciencias, lo que también impulsó una revitalización en la ingeniería civil. Los avances tecnológicos y científicos permitieron una mayor experimentación con materiales de construcción



y revestimiento. Durante este periodo, se retomó el interés por las antiguas técnicas romanas, pero con un enfoque en la innovación y perfeccionamiento de los materiales utilizados. El Renacimiento trajo consigo un mayor uso de ladrillos cocidos, que se combinaron con morteros a base de cal y nuevos aditivos que mejoraron la durabilidad y resistencia de las infraestructuras. El Canal de Briare en Francia, construido en 1642, es un excelente ejemplo de cómo se aplicaron estos materiales en grandes obras hidráulicas del Renacimiento. Este canal, considerado una de las primeras grandes obras de ingeniería fluvial en Europa, fue diseñado para conectar los ríos Loira y Sena, y su construcción requirió de soluciones de revestimiento efectivas para garantizar la impermeabilidad y resistencia de sus muros y lechos. Los ladrillos cocidos y morteros de cal fueron seleccionados para recubrir las paredes del canal y evitar filtraciones, una técnica que ofrecía durabilidad frente al desgaste constante por el paso del agua y las variaciones de clima. Estos materiales, al ser usados correctamente, garantizaban que las estructuras soportaran el peso del agua y resistieran la erosión. Durante el Renacimiento, además, se comenzaron a explorar otros materiales, como las piedras calcáreas y areniscas, que eran utilizadas no solo por sus propiedades técnicas, sino también por su valor estético en las infraestructuras. Este enfoque estético también fue reflejo de una época en la que el arte y la funcionalidad se entrelazaban de manera más evidente, lo que se tradujo en obras de ingeniería que no solo eran prácticas, sino también visualmente imponentes. Es importante destacar que la mejora en las técnicas de extracción y procesamiento de materiales naturales permitió que estos fueran trabajados de manera más eficiente y con mayor precisión. Las canteras de Europa durante el Renacimiento experimentaron avances significativos en cuanto a la producción de materiales de construcción de alta calidad, lo que a su vez contribuyó a la creación de infraestructuras hidráulicas más robustas y duraderas. Hacia finales del Renacimiento, el uso de cemento hidráulico, predecesor del cemento moderno, comenzó a ser más común, sentando las bases para la revolución en los materiales de construcción que ocurriría con la llegada de la Revolución Industrial. Este tipo de cemento permitía a los ingenieros de la época crear estructuras más grandes y resistentes al agua,



preparando el terreno para los avances que vendrían en los siglos XVIII y XIX. (de Villanueva, 2005)

Con la llegada de la Revolución Industrial en los siglos XVIII y XIX, se produjo un avance significativo en los materiales de revestimiento, con la invención del cemento Portland en 1824 por Joseph Aspdin, un ingeniero británico. Este nuevo material permitió la producción de concretos mucho más resistentes que los utilizados hasta entonces, revolucionando la construcción de presas, canales y otras infraestructuras hidráulicas. La capacidad del cemento Portland para resistir condiciones ambientales extremas lo hizo ideal para estas aplicaciones, siendo adoptado rápidamente en la ingeniería hidráulica a nivel mundial. Un ejemplo de su uso es la construcción de la presa Hoover, finalizada en 1935, donde se emplearon enormes cantidades de concreto para revestir y proteger la estructura de la acción erosiva del agua. La Revolución Industrial, entre los siglos XVIII y XIX, marcó un hito en la historia de los materiales de revestimiento, particularmente en el campo de la ingeniería civil e hidráulica. Durante este periodo, la innovación tecnológica y el avance en la producción de materiales trajeron consigo una verdadera transformación en la construcción de infraestructuras a gran escala. Uno de los desarrollos más significativos fue la invención del cemento Portland en 1824 por el ingeniero británico Joseph Aspdin. Este material, un tipo de cemento hidráulico artificial, revolucionó la industria de la construcción al ofrecer un concreto mucho más fuerte y resistente que el anteriormente utilizado, permitiendo la creación de infraestructuras más grandes y duraderas, especialmente en el ámbito de las obras hidráulicas. (Vacca, 2023)

El cemento Portland estaba compuesto por una mezcla de piedra caliza y arcilla que, tras ser calcinadas y molidas, producían un polvo fino que, al mezclarse con agua, se endurecía y formaba una masa resistente a la compresión. A diferencia de los cementos tradicionales, el cemento Portland ofrecía una notable resistencia al agua y a condiciones ambientales extremas, lo que lo hacía ideal para obras de infraestructura sometidas a condiciones de desgaste intensas, como las presas, los canales y los sistemas de alcantarillado. Uno de los primeros usos



importantes del cemento Portland fue en la construcción de presas y canales. Durante el siglo XIX, la expansión de los sistemas de transporte fluvial y las necesidades crecientes de gestión del agua llevaron a una mayor demanda de materiales que pudieran soportar la presión y la acción constante del agua. El cemento Portland fue rápidamente adoptado en la ingeniería hidráulica, ya que ofrecía una solución duradera a problemas como la erosión y las filtraciones, que hasta entonces habían sido un desafío constante en estas infraestructuras. Un ejemplo emblemático del uso del cemento Portland en obras hidráulicas es la construcción de la presa Hoover en los Estados Unidos, una de las obras de ingeniería más grandes de su tiempo. Finalizada en 1935, esta presa monumental utilizó una cantidad masiva de concreto, que incluía grandes volúmenes de cemento Portland para revestir sus paredes internas y externas, protegiendo la estructura de la acción erosiva del agua y asegurando su estabilidad a largo plazo. La presa Hoover, con una altura de más de 220 metros, fue diseñada para controlar las aguas del río Colorado, generar energía hidroeléctrica y proporcionar agua de riego a vastas zonas agrícolas. El uso del cemento Portland en esta construcción fue crucial para garantizar la resistencia de la presa frente a las fuerzas colosales ejercidas por el agua embalsada. Además de las presas, el cemento Portland también fue fundamental en la construcción de canales durante la Revolución Industrial. En Europa y América del Norte, el auge del comercio y la necesidad de mejorar las vías de transporte llevaron a la creación de extensos sistemas de canales para la navegación y el transporte de mercancías. Estos canales requerían un revestimiento resistente que pudiera soportar la erosión provocada por el agua en movimiento y, al mismo tiempo, evitar las filtraciones que podían dañar las estructuras. El cemento Portland fue una opción ideal debido a su capacidad para endurecerse bajo el agua y resistir los cambios climáticos, lo que permitió la construcción de canales más anchos y profundos, mejorando significativamente la eficiencia del transporte fluvial. Otro avance clave facilitado por el cemento Portland fue la construcción de sistemas de alcantarillado modernos. A medida que las ciudades crecían durante la Revolución Industrial, también lo hicieron las necesidades de gestionar los residuos de manera eficiente. Las antiguas cloacas de ladrillo y piedra se volvieron insuficientes, y la resistencia superior del



cemento Portland permitió la creación de sistemas de alcantarillado subterráneos más grandes y duraderos. Estos sistemas no solo mejoraron las condiciones sanitarias en las ciudades, sino que también ayudaron a prevenir inundaciones urbanas, gestionando mejor el flujo de aguas pluviales y residuales. (Giraldo, 2015)

Durante el siglo XX, el uso del cemento Portland se consolidó como el estándar en la construcción de infraestructuras hidráulicas y de otro tipo. Su combinación con refuerzos de acero, en lo que se conoce como concreto reforzado, permitió la construcción de obras aún más grandes y complejas, como presas hidroeléctricas, acueductos, y plantas de tratamiento de agua. La capacidad del concreto reforzado para soportar tanto la compresión como la tracción lo convirtió en el material ideal para estas aplicaciones, y su uso se extendió rápidamente por todo el mundo. Hoy en día, la innovación en los materiales de revestimiento está avanzando rápidamente, impulsada por la necesidad de crear infraestructuras más sostenibles, duraderas y de bajo mantenimiento. Este enfoque hacia la eficiencia y la sostenibilidad ha generado investigaciones en una amplia gama de nuevos materiales, entre los cuales los nanomateriales y los revestimientos inteligentes están tomando un protagonismo cada vez mayor. Estos desarrollos no solo ofrecen mejoras en términos de rendimiento, sino que también están transformando la forma en que las obras hidráulicas son diseñadas y mantenidas, reduciendo significativamente los costos operativos y extendiendo la vida útil de las infraestructuras. (Porras, 2023)

Los nanomateriales, gracias a sus propiedades únicas a nivel molecular, están permitiendo que los revestimientos sean más resistentes y eficientes. Estos materiales son capaces de modificar la superficie de las estructuras a nivel nanométrico, lo que ofrece una serie de beneficios sin precedentes. Por ejemplo, los revestimientos basados en nanomateriales pueden proporcionar superficies superhidrofóbicas, lo que significa que repelen el agua de manera efectiva. Esto es crucial en obras hidráulicas, ya que evita la acumulación de agua en la superficie y reduce significativamente el riesgo de corrosión, moho o daño estructural. Además, este tipo de revestimiento mejora la resistencia a la erosión y la abrasión, lo que es esencial en



infraestructuras sometidas a flujos constantes de agua, como los canales y las presas. Otra aplicación innovadora de los nanomateriales es el desarrollo de revestimientos antibacterianos. Estos revestimientos son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias y otros microorganismos en la superficie de las infraestructuras. Esto es particularmente útil en sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la proliferación de bacterias puede causar problemas de salud pública y deterioro de las instalaciones. Al incorporar nanopartículas de plata u otros compuestos antimicrobianos en los revestimientos, se ha logrado reducir considerablemente estos riesgos, mejorando la higiene y minimizando los costos de limpieza y mantenimiento. (Mesa, 2016)

El concepto de revestimientos inteligentes ha ganado mucha atención en la última década. Estos revestimientos no solo proporcionan una barrera física, sino que también interactúan con el entorno para adaptarse a diferentes condiciones, como cambios de temperatura, humedad o presión. Uno de los avances más notables en esta área son los revestimientos autolimpiables, que utilizan la tecnología basada en el efecto loto. Inspirado en la naturaleza, este efecto permite que las superficies recubiertas sean extremadamente resbaladizas al agua y al polvo, lo que significa que las partículas contaminantes no se adhieren y son fácilmente arrastradas por la lluvia o la acción del agua. Esta tecnología está siendo cada vez más utilizada en obras hidráulicas y en sistemas de distribución de agua potable, donde mantener limpias las superficies internas es crucial para evitar la contaminación y el desgaste. Por otro lado, los revestimientos autorreparables representan una innovación revolucionaria en el mantenimiento de infraestructuras. Estos revestimientos tienen la capacidad de "curarse" a sí mismos cuando se dañan, ya sea por pequeñas fisuras o impactos externos. Esto se logra mediante el uso de materiales poliméricos especiales que contienen microcápsulas de resina. Cuando se produce una grieta, estas microcápsulas se rompen y liberan el material reparador, que sella automáticamente la fisura. Esta tecnología no solo extiende significativamente la vida útil de las infraestructuras, sino que también reduce la necesidad de reparaciones costosas y recurrentes, lo que resulta en un



importante ahorro en términos económicos y de recursos. En el contexto de las obras hidráulicas, donde las fisuras y daños en los revestimientos pueden comprometer la integridad de toda la estructura, estos revestimientos autorreparables ofrecen una solución preventiva eficaz.

Además de los avances en los materiales de revestimiento, se está poniendo un fuerte énfasis en el impacto ambiental de estos productos. Los ingenieros y científicos están buscando desarrollar revestimientos más sostenibles que reduzcan el uso de recursos no renovables y minimicen la huella de carbono. En este sentido, se están investigando materiales reciclados y biodegradables, así como procesos de fabricación más eficientes que consumen menos energía y producen menos residuos. Por ejemplo, los revestimientos basados en biopolímeros, que se derivan de recursos naturales como el maíz o la caña de azúcar, están ganando popularidad debido a su capacidad para degradarse de manera más rápida y segura en el medio ambiente, sin liberar toxinas nocivas. Otra tendencia en la industria de los materiales de revestimiento es la integración de sensores inteligentes en los propios materiales. Estos sensores permiten monitorear en tiempo real las condiciones del revestimiento y detectar posibles problemas, como filtraciones, corrosión o daños estructurales. Esta capacidad de monitoreo proactivo ayuda a prevenir fallos antes de que ocurran, lo que es particularmente útil en obras hidráulicas críticas, donde los problemas no detectados pueden tener consecuencias desastrosas. Estos sensores, combinados con sistemas de control remoto, están transformando el mantenimiento de las infraestructuras, haciendo posible la detección temprana de problemas y la programación de intervenciones preventivas mucho más eficientes. (Holguín, 2015)

La historia de los materiales de revestimiento es un testimonio del progreso humano en la ingeniería civil y su capacidad para adaptarse y mejorar las infraestructuras hidráulicas. Desde los primeros usos de piedra caliza y betún hasta los modernos compuestos poliméricos, los materiales de revestimiento han desempeñado un papel crucial en la protección y durabilidad de las estructuras que gestionan los recursos hídricos del mundo.



A lo largo de este capítulo, se ha destacado la relevancia de los materiales de revestimiento en la preservación y funcionalidad de las obras hidráulicas. Desde las primeras aplicaciones con piedra y betún en la antigüedad hasta los materiales avanzados utilizados en la actualidad, como las geomembranas y recubrimientos de polímeros, su evolución ha sido crucial para garantizar la durabilidad y el rendimiento de las infraestructuras frente a los desafíos del entorno. En definitiva, los materiales de revestimiento no solo han sido testigos de los avances tecnológicos en la ingeniería civil, sino que continúan siendo un pilar fundamental en la construcción y mantenimiento de obras hidráulicas eficientes y sostenibles.

### 4.3 Capítulo 3

La clasificación de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas es un aspecto fundamental para garantizar la durabilidad, eficiencia y sostenibilidad de las infraestructuras relacionadas con el manejo y control del agua. Estos materiales, utilizados desde las antiguas civilizaciones hasta las tecnologías modernas, juegan un papel crucial en la protección contra la erosión, el control de filtraciones y la estabilización de estructuras como presas, canales y diques. A lo largo del tiempo, los avances en la ciencia de los materiales han permitido desarrollar tanto soluciones tradicionales, como las piedras y arcillas, como innovaciones tecnológicas basadas en polímeros sintéticos y materiales sostenibles. La correcta selección y aplicación de estos revestimientos no solo influye en la seguridad de las obras hidráulicas, sino también en su impacto ambiental y costos de mantenimiento a largo plazo.

#### 4.3.1 Clasificación De Los Materiales De Revestimiento En Obras Hidráulicas

La clasificación de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas se basa en sus características y composiciones, las cuales determinan su uso y aplicación en diferentes contextos. Estos materiales pueden dividirse en tres grandes categorías:



### 4.3.2 Materiales Naturales

Los materiales naturales han sido utilizados en la construcción de obras hidráulicas desde tiempos inmemoriales y continúan desempeñando un papel importante en proyectos modernos. Estos materiales, extraídos directamente de la naturaleza, incluyen piedra, arcilla, y grava, entre otros, los cuales son apreciados por su disponibilidad, economía y propiedades inherentes que permiten su uso en una variedad de aplicaciones. Aunque su extracción y colocación pueden ser más laboriosas que la de otros materiales modernos, su durabilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales hacen que sigan siendo una opción viable y eficaz para muchas obras hidráulicas. (Huamán, 2023)

#### 4.3.2.1 Piedras

La piedra natural ha jugado un papel crucial en la construcción de obras hidráulicas desde la antigüedad, cuando civilizaciones como los egipcios, los romanos y los sumerios la empleaban para estructuras monumentales y sistemas de canalización. Entre las piedras más utilizadas en este contexto destacan la caliza, el granito y el basalto, materiales que se seleccionan por sus propiedades mecánicas y su durabilidad frente a condiciones climáticas adversas.

Uno de los principales usos de la piedra natural en obras hidráulicas es su capacidad para resistir la erosión y su idoneidad para soportar cargas pesadas. La caliza, por ejemplo, fue empleada extensamente en el antiguo Egipto, no solo en la construcción de las pirámides, sino también en canales y sistemas de riego, debido a su disponibilidad en la región y su relativa facilidad para ser trabajada. A lo largo del tiempo, los egipcios perfeccionaron técnicas de extracción y corte de piedra caliza, asegurando que sus infraestructuras perduraran durante siglos a pesar de la exposición constante al agua y a la erosión causada por el clima desértico. Por otro lado, el granito, mucho más duro y resistente que la caliza, ha sido utilizado en proyectos que requieren estructuras extremadamente robustas. Su alta resistencia a la compresión lo hace ideal para presas y muros de contención en los que la capacidad de soportar grandes fuerzas es esencial.



En la antigua Roma, el granito fue empleado en la construcción de acueductos y puentes que, incluso hoy en día, continúan en pie. La durabilidad de este material es tal que muchos de estos acueductos romanos siguen siendo utilizados o son considerados monumentos históricos. (Giraldo, 2015)

El basalto, por su parte, es otra piedra natural común en la ingeniería hidráulica, sobre todo en regiones volcánicas donde es abundante. Este material se caracteriza por su alta densidad y su resistencia al desgaste, lo que lo hace ideal para proteger estructuras que están en contacto constante con corrientes de agua rápidas, como las presas y los vertederos. En la ingeniería moderna, se sigue utilizando basalto en la construcción de revestimientos para canales y diques debido a su capacidad para resistir el impacto del agua de alta velocidad. Sin embargo, a pesar de las excelentes propiedades mecánicas y de durabilidad de la piedra natural, existen varios desafíos relacionados con su uso en obras hidráulicas. Uno de los más significativos es el elevado costo de extracción, transporte y colocación. La extracción de piedra requiere maquinaria pesada y, dependiendo de la ubicación de la cantera, puede ser un proceso intensivo en términos de mano de obra y tiempo. Además, el transporte de bloques de piedra grandes a menudo implica grandes distancias y el uso de vehículos especializados, lo que incrementa significativamente los costos del proyecto. (Acuña, 2018)

En términos de colocación, la instalación de bloques de piedra grandes y pesados en obras hidráulicas requiere precisión y equipos especializados. La alineación correcta de los bloques es crucial para asegurar la estabilidad estructural de la obra, y cualquier error puede comprometer la integridad del proyecto. Por lo tanto, los costos asociados al uso de piedra natural no se limitan únicamente a la adquisición del material, sino que incluyen un proceso constructivo más complejo y prolongado en comparación con otros materiales más ligeros o sintéticos. A pesar de estos desafíos, la piedra natural sigue siendo una opción preferida en muchas aplicaciones modernas, particularmente en proyectos que requieren estabilidad a largo plazo y una estética tradicional. En áreas protegidas o de gran valor histórico, donde se busca preservar el paisaje



natural y la integridad de las construcciones, la piedra sigue siendo la elección predominante. También es importante destacar que la piedra es un material sostenible, ya que su extracción, aunque intensiva en recursos, no genera los mismos impactos ambientales que la producción de materiales sintéticos. (Rocha, 2019)

La longevidad comprobada de la piedra natural en obras hidráulicas alrededor del mundo la convierte en una opción robusta y fiable, especialmente en aquellas situaciones en las que la infraestructura debe resistir las inclemencias del tiempo y el paso del tiempo. Su capacidad para proteger contra la erosión, soportar cargas pesadas y proporcionar una barrera efectiva contra la infiltración del agua sigue siendo incomparable, lo que asegura su relevancia en la ingeniería hidráulica contemporánea.

#### 4.3.2.2 Gravav

La grava es un material granular compuesto por fragmentos de roca de distintos tamaños, que ha sido ampliamente utilizado en la ingeniería hidráulica, principalmente como material de protección en obras expuestas a la acción constante del agua. Debido a su capacidad para disipar la energía de las corrientes de agua y su resistencia a la erosión, la grava es empleada frecuentemente en la cobertura de cauces de ríos, canales, y márgenes de cuerpos de agua. En este contexto, su función principal es evitar la erosión de las orillas y lechos, protegiendo la estructura natural o artificial de la obra hidráulica. (Mayta, 2018)

La grava es especialmente útil en canales, donde se coloca en las paredes y el fondo para estabilizar los bordes y evitar que el flujo de agua degrade las paredes de tierra o sedimento. A medida que el agua fluye, los fragmentos de grava dispersan la energía del agua, mitigando la acción erosiva que podría desestabilizar la infraestructura. En situaciones donde el flujo del agua es rápido o turbulento, la presencia de grava ayuda a minimizar la socavación que puede comprometer la integridad de las estructuras, como diques o terraplenes, al reducir la velocidad de la corriente en contacto con la superficie. Otro uso común de la grava es como parte de los



sistemas de drenaje. Su carácter poroso permite el paso del agua, lo que la hace ideal para su utilización en zanjas o drenajes perimetrales, en los que se busca evacuar el exceso de agua de las áreas cercanas a obras hidráulicas sin causar acumulación o presiones que podrían comprometer la estabilidad de la estructura. En obras como presas de tierra o sistemas de canalización, la grava actúa como un filtro natural, permitiendo que el agua fluya a través de ella mientras retiene partículas de suelo y evita el colapso del material circundante. Sin embargo, uno de los desafíos en el uso de grava en obras hidráulicas es su naturaleza altamente porosa. A pesar de sus ventajas en la protección contra la erosión y la absorción de energía, su capacidad para permitir el paso del agua puede ser contraproducente en proyectos donde la impermeabilidad es crucial. Por esta razón, en situaciones donde se necesita evitar la filtración, como en la construcción de canales revestidos o embalses, la grava debe combinarse con materiales impermeables, como geomembranas o capas de arcilla compactada, que sellan el área y evitan que el agua permee a través del revestimiento. (Silva, 2020)

Un ejemplo de esta combinación es el uso de grava en bajo revestimientos de geomembranas o mallas geotextiles, donde la grava proporciona estabilidad estructural y protección contra daños mecánicos a la geomembrana, mientras que esta última garantiza la impermeabilidad del sistema. En este tipo de aplicaciones, la grava se convierte en una capa de protección que evita que el flujo de agua dañe la geomembrana y, al mismo tiempo, permite que el agua se canalice a través del sistema sin causar erosión en el material subyacente. La elección de la grava como material de revestimiento también depende del tamaño y gradación de los fragmentos. Para maximizar su efectividad en aplicaciones hidráulicas, se selecciona una gradación de grava adecuada según el tipo de flujo y el nivel de protección deseado. Gravas de mayor tamaño son más efectivas en situaciones de corrientes rápidas, ya que su masa les permite resistir el desplazamiento, mientras que gravas más finas se utilizan en áreas de flujos más lentos o como capas base en sistemas de drenaje. Por otro lado, en proyectos que involucran recursos limitados, la grava ofrece una ventaja económica significativa. En muchas regiones, la grava es



un material abundante y relativamente fácil de extraer, lo que reduce los costos de transporte y adquisición. Esta disponibilidad convierte a la grava en una solución práctica y asequible para la estabilización y protección de estructuras hidráulicas, especialmente en zonas rurales o proyectos de menor escala. A pesar de su utilidad y disponibilidad, es importante considerar las condiciones geológicas locales al seleccionar grava para obras hidráulicas. La calidad y tipo de roca que compone la grava varía significativamente según la región, y algunas variedades pueden ser más susceptibles a la erosión química o a la fractura bajo condiciones extremas. Por lo tanto, el diseño de las obras hidráulicas debe tomar en cuenta la durabilidad a largo plazo del material de grava en contacto con el agua, el clima y las características geológicas del lugar. (Gonzales, 2011)

La grava es un material esencial en la ingeniería hidráulica moderna, proporcionando protección contra la erosión, estabilidad en sistemas de drenaje y una base para otros materiales de revestimiento más impermeables. A pesar de sus limitaciones, como la necesidad de combinarse con materiales impermeables, su facilidad de uso y versatilidad hacen de la grava una opción fundamental en la construcción y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas.

#### 4.3.2.3 Arcilla

La arcilla es uno de los materiales de revestimiento más importantes en obras hidráulicas, especialmente debido a sus propiedades altamente impermeables y su capacidad para formar una barrera eficaz contra la filtración de agua. Este material ha sido utilizado desde tiempos antiguos en diversas estructuras hidráulicas, tales como estanques, diques, canales, y embalses, gracias a su abundancia, bajo costo y facilidad de uso. A lo largo de los años, la arcilla ha demostrado ser un componente clave en la ingeniería civil, desempeñando un papel fundamental en la contención y manejo de cuerpos de agua. Uno de los atributos más valiosos de la arcilla es su impermeabilidad. Este material es capaz de compactarse en capas densas que forman una barrera natural contra la filtración de agua, lo que impide que los líquidos atraviesen la estructura. Al estar compuesta por partículas muy finas, la arcilla posee una baja permeabilidad, lo que significa que el agua no puede moverse fácilmente a través de ella. Esta propiedad es crucial en la



construcción de diques, presas y otros sistemas hidráulicos que deben evitar la fuga de agua o la erosión interna, ya que la filtración puede debilitar las estructuras con el tiempo. (Vidal, 2001)

Cuando se utiliza la arcilla en aplicaciones hidráulicas, generalmente se coloca en capas compactadas. El proceso de compactación consiste en aplicar presión a la arcilla para reducir los espacios vacíos entre las partículas, creando una estructura más densa y resistente a la filtración. Cada capa de arcilla se compacta utilizando maquinaria especializada para asegurar que la barrera formada sea lo más impermeable posible. Este proceso es especialmente importante en la construcción de presas de tierra o embalses, donde la impermeabilidad es esencial para evitar fugas que comprometan la estabilidad de la infraestructura. Además de su impermeabilidad, la arcilla tiene una notable capacidad para adaptarse a deformaciones del terreno sin agrietarse. Su naturaleza plástica le permite flexionarse y moverse en respuesta a pequeños cambios en el terreno o en la estructura, lo que la hace ideal para su uso en áreas propensas a asentamientos o deslizamientos. A diferencia de materiales rígidos que pueden fracturarse ante movimientos del suelo, la arcilla se adapta a las deformaciones, manteniendo su integridad estructural. Esta flexibilidad es clave en proyectos hidráulicos ubicados en terrenos inestables o donde el suelo tiende a asentarse con el tiempo.

En las presas de tierra, la arcilla es a menudo el material principal utilizado para formar el núcleo impermeable de la estructura. Estas presas se construyen apilando capas de arcilla compactada, arena y grava, creando una barrera resistente al paso del agua. La arcilla, en su núcleo, impide que el agua atraviese la presa, mientras que los otros materiales proporcionan estabilidad y soporte. Las presas de tierra con núcleo de arcilla son especialmente comunes en regiones donde otros materiales de revestimiento más modernos, como las geomembranas, no están disponibles o resultan demasiado costosos. Asimismo, en canales y estanques, la arcilla se utiliza para revestir el fondo y las paredes con el objetivo de prevenir la infiltración del agua hacia el subsuelo. Este tipo de revestimiento es esencial en zonas donde la permeabilidad del terreno es alta, y donde la pérdida de agua podría ser un problema significativo. El revestimiento



con arcilla garantiza que el agua permanezca contenida dentro del canal o estanque, mejorando la eficiencia de almacenamiento y transporte de agua, y minimizando la pérdida por infiltración. Además, en algunos casos, la arcilla puede mezclarse con otros materiales, como grava o arena, para mejorar sus propiedades mecánicas y garantizar una mayor estabilidad. (Calderón, 2012)

Otro aspecto relevante de la arcilla es su resistencia a la erosión interna, un problema común en estructuras hidráulicas. La erosión interna, también conocida como piping, ocurre cuando el agua se filtra a través de pequeñas grietas o poros en una estructura, arrastrando partículas de suelo a medida que fluye, lo que eventualmente puede debilitar y colapsar la obra. La capacidad de la arcilla para sellar las grietas y evitar el movimiento del agua dentro de la estructura es crucial para prevenir este tipo de falla catastrófica. Sin embargo, el uso de arcilla en obras hidráulicas no está exento de desafíos. Uno de los principales inconvenientes es que la arcilla requiere un proceso de instalación cuidadoso y meticuloso. Para que la arcilla actúe como una barrera eficaz, debe ser compactada adecuadamente, lo que demanda tiempo, maquinaria especializada y personal capacitado. Además, la calidad de la arcilla puede variar significativamente según su origen geológico, y algunas arcillas pueden ser más susceptibles a la expansión y contracción en función de su contenido de agua, lo que podría generar agrietamientos o deformaciones no deseadas. En algunas situaciones, la arcilla expansiva puede ser problemática, ya que tiende a hincharse cuando absorbe agua y a contraerse cuando se seca. Este ciclo de expansión y contracción puede causar fisuras en el revestimiento, lo que comprometería su impermeabilidad. Para evitar estos problemas, en proyectos de gran envergadura se realizan estudios geotécnicos previos que determinan el tipo y comportamiento de la arcilla a utilizar, permitiendo la selección del material más adecuado según las condiciones específicas del sitio. La arcilla también juega un papel importante en la ingeniería de revestimientos sostenibles. Debido a que es un material natural y abundante, su uso reduce la dependencia de materiales sintéticos o más contaminantes. Además, al ser un recurso local en



muchas regiones, su extracción y transporte suelen tener un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con otros materiales. (Santos, 2011)

La arcilla es un material esencial en la construcción de obras hidráulicas, destacándose por su impermeabilidad, adaptabilidad a los movimientos del terreno, y resistencia a la erosión interna. Aunque presenta algunos desafíos en su uso, como la necesidad de compactación cuidadosa y la variabilidad en sus propiedades geotécnicas, su disponibilidad y efectividad hacen que continúe siendo una opción preferida en la ingeniería civil hidráulica

#### 4.3.3 Materiales Sintéticos y Poliméricos

Los materiales sintéticos y poliméricos han transformado radicalmente la manera en que se diseñan y construyen las infraestructuras hidráulicas, al ofrecer una gama de soluciones que optimizan tanto el rendimiento como la sostenibilidad. Estos materiales, desarrollados a partir de tecnologías avanzadas, permiten a los ingenieros crear estructuras más eficientes, resistentes y ligeras, que son esenciales en proyectos donde la durabilidad y la protección contra la acción del agua y otros elementos son fundamentales.

Uno de los principales beneficios de los materiales sintéticos y poliméricos es su ligereza. A diferencia de los materiales tradicionales como la piedra, el concreto o los ladrillos, que son pesados y requieren de un manejo intensivo, los materiales sintéticos son significativamente más livianos, lo que facilita su transporte y manipulación en obra. Esto no solo reduce los costos logísticos, sino que también acelera el proceso de construcción, especialmente en áreas de difícil acceso donde el uso de maquinaria pesada puede ser limitado o costoso. La reducción en el peso de los materiales también se traduce en una disminución de las cargas estructurales, lo que permite diseñar infraestructuras más delgadas y ligeras, sin comprometer su resistencia. Uno de los aspectos clave de los materiales sintéticos y poliméricos es su flexibilidad, que les permite adaptarse a diversas condiciones geológicas y climáticas. Esta característica es especialmente importante en áreas propensas a movimientos sísmicos o asentamientos del terreno, donde los



materiales tradicionales pueden sufrir fracturas o fallas. Los materiales poliméricos, en cambio, tienen la capacidad de deformarse ligeramente sin perder sus propiedades estructurales, lo que los convierte en una opción ideal para revestimientos en túneles, canales y embalses. Su capacidad para sellar eficientemente las superficies también contribuye a prevenir la filtración de agua, lo que es esencial en la protección de las infraestructuras hidráulicas. (Rodríguez, 2016)

#### 4.3.3.1 Geotextiles

Los geotextiles han revolucionado el campo de las obras hidráulicas debido a sus diversas aplicaciones y su capacidad para reforzar la estabilidad de estructuras expuestas al agua, como diques, canales, taludes y sistemas de drenaje. Fabricados a partir de fibras sintéticas, principalmente polímeros como polipropileno y poliéster, los geotextiles son materiales permeables que permiten el paso del agua a través de ellos mientras retienen las partículas del suelo, lo que previene la erosión y mantiene la integridad del terreno subyacente.

Uno de los principales usos de los geotextiles en obras hidráulicas es el control de la filtración y la erosión. En canales, ríos y sistemas de drenaje, el agua en movimiento tiende a arrastrar sedimentos y partículas de suelo, lo que puede desestabilizar las estructuras circundantes. Los geotextiles actúan como una barrera permeable, permitiendo el flujo controlado del agua, pero impidiendo que el suelo sea erosionado. Esto es especialmente importante en proyectos donde el terreno subyacente es vulnerable a la acción del agua, como en taludes o en zonas costeras donde las mareas y las corrientes marinas ejercen una presión constante sobre la tierra. Los geotextiles también se utilizan en la construcción de diques y muros de contención, donde su función principal es la separación de capas de suelo y la distribución uniforme de la carga. En estos casos, el geotextil evita la mezcla de materiales de diferente granulometría, lo que contribuye a la estabilidad estructural. Además, al permitir la filtración del agua, los geotextiles previenen la acumulación de presión hidrostática detrás de las estructuras, lo que puede causar el colapso o el desplazamiento de los muros si no se controla adecuadamente. (Wu H, 2020)



En combinación con otros materiales de revestimiento, los geotextiles refuerzan la durabilidad y eficiencia de las infraestructuras hidráulicas. En la construcción de canales revestidos con concreto o piedra, los geotextiles se colocan entre el suelo y el revestimiento para evitar el lavado de finos y la pérdida de soporte estructural que puede comprometer la longevidad de la obra. Al prevenir que las partículas finas del suelo sean arrastradas por el agua, los geotextiles aseguran que el revestimiento permanezca estable y funcional a largo plazo, incluso en condiciones de flujo constante. Otro aspecto crucial de los geotextiles es su capacidad de drenaje. En proyectos de obras hidráulicas donde se debe manejar el exceso de agua, los geotextiles son utilizados como parte de sistemas de drenaje subterráneo. Al permitir que el agua fluya libremente a través de ellos, los geotextiles ayudan a canalizar el agua hacia los sistemas de drenaje adecuados, evitando que se acumule en el suelo o en la estructura misma. Esto es esencial en obras donde el agua puede comprometer la estabilidad del terreno o causar la saturación del suelo, lo que a su vez podría generar deslizamientos de tierra o asentamientos diferenciales. (Cazzuffi, 2016)

Existen dos tipos principales de geotextiles: los tejidos y los no tejidos. Los geotextiles tejidos se fabrican mediante un proceso de entrelazado de fibras, lo que les otorga una mayor resistencia a la tracción y una estructura más rígida. Son ideales para aplicaciones donde se requiere una alta resistencia mecánica, como en la estabilización de suelos y en la separación de materiales en grandes obras de infraestructura. Por otro lado, los geotextiles no tejidos, que se producen mediante un proceso de punzonado con agujas o termoformado, son más flexibles y se adaptan mejor a terrenos irregulares. Estos geotextiles son especialmente útiles en proyectos de drenaje y filtración, donde su alta permeabilidad permite el paso del agua sin comprometer la estabilidad del suelo. (Pino, 2018)

La instalación de geotextiles es un proceso relativamente sencillo, pero requiere de un diseño cuidadoso para maximizar su efectividad. Dependiendo del tipo de aplicación, los geotextiles pueden instalarse como capas continuas bajo el terreno o en combinación con otros



materiales de construcción. Por ejemplo, en la construcción de caminos y taludes, los geotextiles se colocan directamente sobre el suelo natural antes de añadir las capas de grava o concreto, lo que asegura una mejor distribución de las cargas y reduce el riesgo de deformaciones. En proyectos de obras hidráulicas, su instalación es fundamental para garantizar que el flujo de agua no provoque la erosión de las bases de la estructura. En términos de sostenibilidad, los geotextiles ofrecen beneficios significativos, ya que permiten reducir el uso de materiales más pesados o costosos, como el concreto o la piedra, al mejorar la eficiencia de las soluciones de drenaje y filtración. Además, muchos geotextiles están diseñados para ser reciclables o biodegradables, lo que minimiza su impacto ambiental al final de su vida útil. Esta característica es cada vez más importante en la ingeniería moderna, donde los proyectos de infraestructura deben cumplir con estándares más estrictos de sostenibilidad y respeto al medio ambiente. (Iryo, 2003)

Los geotextiles son una herramienta esencial en la ingeniería de obras hidráulicas debido a su capacidad para controlar la erosión, permitir el drenaje eficiente y mejorar la estabilidad de las estructuras. Al combinar resistencia mecánica, permeabilidad y flexibilidad, estos materiales ofrecen soluciones versátiles que no solo prolongan la vida útil de las infraestructuras, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de los proyectos. Con la continua evolución de los materiales y técnicas de fabricación, los geotextiles seguirán siendo un componente clave en la protección y desarrollo de obras hidráulicas en todo el mundo.

#### 4.3.3.2 Geomembranas

Las geomembranas han transformado la ingeniería de revestimientos en obras hidráulicas, posicionándose como una solución imprescindible en proyectos donde el control de la infiltración de agua es crítico. Fabricadas principalmente de polietileno de alta densidad (HDPE), policloruro de vinilo (PVC) u otros polímeros avanzados, estas láminas sintéticas forman barreras impermeables que se utilizan para recubrir embalses, canales, estanques y vertederos, proporcionando una protección eficaz contra la pérdida de agua y la contaminación de suelos y acuíferos. Uno de los aspectos más destacados de las geomembranas es su capacidad para



adaptarse a una amplia variedad de condiciones geológicas y climáticas. Su flexibilidad las hace ideales para su aplicación en superficies irregulares o terrenos que experimentan deformaciones o asentamientos. Esto es particularmente relevante en obras hidráulicas situadas en áreas propensas a movimientos sísmicos o fluctuaciones estacionales en el nivel del agua. Además, su ligereza en comparación con otros materiales de revestimiento, como el concreto o la piedra, facilita su transporte e instalación en zonas de difícil acceso o en proyectos de gran envergadura que abarcan extensiones significativas. (Araujo, 2022)

El polietileno de alta densidad (HDPE) es uno de los materiales más comunes en la fabricación de geomembranas debido a su excelente resistencia química y mecánica. Este tipo de polímero es altamente resistente a la degradación por la acción de productos químicos agresivos, lo que lo convierte en una opción ideal en obras donde el agua en contacto con la estructura contiene contaminantes o sustancias corrosivas. El HDPE también es conocido por su durabilidad y su capacidad para resistir la exposición prolongada a los rayos UV, lo que prolonga su vida útil en aplicaciones a cielo abierto. En embalses y estanques, las geomembranas de HDPE evitan la filtración de agua hacia el subsuelo, conservando el recurso hídrico y protegiendo los acuíferos subyacentes de la contaminación. Por otro lado, las geomembranas de PVC son valoradas por su flexibilidad y facilidad de instalación. A diferencia del HDPE, el PVC es más adaptable a superficies complejas y puede instalarse en condiciones de temperaturas más bajas sin riesgo de fisuración. Esto las hace especialmente útiles en obras que requieren una rápida instalación o en climas fríos donde otros materiales sintéticos pueden volverse quebradizos. Las geomembranas de PVC son ampliamente utilizadas en sistemas de irrigación, donde su elasticidad permite cubrir grandes áreas de canales o reservorios, manteniendo una impermeabilidad efectiva y asegurando la retención de agua en el sistema. (Guerreo, 2003)

La instalación de geomembranas es un proceso relativamente sencillo en comparación con otros métodos de impermeabilización, lo que reduce significativamente los tiempos y costos asociados a la construcción. Generalmente, estas láminas se despliegan sobre la superficie a



proteger y se sueldan entre sí mediante métodos térmicos o químicos, creando una barrera continua y sin fisuras que impide el paso del agua. La calidad de las soldaduras es crítica para garantizar la integridad del sistema de impermeabilización, y el uso de equipos especializados asegura que las uniones entre las láminas sean duraderas y estancas. En algunos casos, las geomembranas se combinan con otros materiales, como los geotextiles, para mejorar su rendimiento, proporcionando una mayor protección contra la perforación o el desgaste mecánico. (Apaza, 2021)

En términos de sostenibilidad, las geomembranas también ofrecen ventajas significativas. Su durabilidad prolongada reduce la necesidad de reemplazos frecuentes, lo que a su vez minimiza el uso de materiales y los costos de mantenimiento a largo plazo. Además, algunas geomembranas pueden ser recicladas al final de su vida útil, contribuyendo a la reducción de residuos y a la conservación de los recursos naturales. Este enfoque más sostenible es clave en un contexto donde las infraestructuras hidráulicas están siendo diseñadas con criterios ambientales más rigurosos. Sin embargo, las geomembranas también presentan algunos desafíos. A pesar de su resistencia, pueden ser susceptibles a daños mecánicos durante su instalación o a perforaciones causadas por objetos puntiagudos en el terreno. Para mitigar estos riesgos, a menudo se emplean capas de geotextiles o arena como colchones protectores entre la geomembrana y el suelo subyacente, lo que ayuda a prolongar la vida útil del revestimiento. Además, es fundamental realizar inspecciones periódicas para asegurar que no haya daños o deterioros que comprometan la impermeabilidad del sistema. (Blanco, 2002)

Las geomembranas son una solución altamente eficaz y versátil para la impermeabilización de obras hidráulicas, gracias a su flexibilidad, resistencia y facilidad de instalación. Su capacidad para formar barreras impermeables en embalses, canales y estanques, junto con su durabilidad y bajo costo de mantenimiento, las convierte en un componente esencial en la ingeniería moderna de revestimientos. Con la continua evolución de los materiales sintéticos y las técnicas de instalación, las geomembranas seguirán desempeñando un papel clave



en la protección de los recursos hídricos y la construcción de infraestructuras hidráulicas sostenibles.

#### 4.3.3.3 Compuestos Epóxicos y los Recubrimientos de Polímeros

Los compuestos epóxicos y los recubrimientos de polímeros han transformado significativamente la protección y durabilidad de las infraestructuras hidráulicas modernas. Estos materiales, reconocidos por su alta resistencia química y mecánica, se han convertido en soluciones ideales para ambientes donde las estructuras están expuestas a condiciones adversas, tanto desde el punto de vista ambiental como operacional. Los compuestos epóxicos son polímeros termorrígidos que, al ser mezclados con un agente endurecedor, forman una barrera sólida, resistente y extremadamente duradera. Debido a su capacidad de resistir una amplia variedad de productos químicos, estos revestimientos son ampliamente utilizados en plantas de tratamiento de agua, plantas industriales y conducciones de agua potable. En estos entornos, la presencia de productos químicos agresivos, como cloro y otros agentes de limpieza, puede dañar gravemente las superficies internas de las estructuras si no están protegidas adecuadamente. Los compuestos epóxicos actúan como una barrera eficaz, previniendo la corrosión y asegurando que las estructuras mantengan su integridad a largo plazo. (Zegarra, 2006)

Además de su resistencia química, los compuestos epóxicos ofrecen una excelente resistencia a la abrasión y al desgaste mecánico. Esto los convierte en una opción ideal para canales de agua, presas y otras infraestructuras hidráulicas donde el flujo constante de agua, sedimentos o partículas en suspensión puede erosionar los materiales de construcción tradicionales. Al recubrir estas superficies con epóxicos, se reduce significativamente el desgaste y se prolonga la vida útil de las infraestructuras. Otra ventaja clave de los compuestos epóxicos es su capacidad para resistir ataques biológicos. En muchas obras hidráulicas, especialmente aquellas relacionadas con la conducción y almacenamiento de agua potable, es esencial evitar la proliferación de organismos biológicos, como algas, bacterias y moho, que pueden contaminar el agua y deteriorar las superficies. Los revestimientos epóxicos crean un entorno hostil para estos



organismos, asegurando que las conducciones y depósitos de agua permanezcan libres de contaminantes. Este aspecto es particularmente importante en las plantas de tratamiento de agua, donde la calidad del agua es una prioridad absoluta. Además de los compuestos epóxicos, los recubrimientos de polímeros, como los basados en poliuretano o polietileno, han ganado popularidad en el revestimiento de obras hidráulicas. Estos materiales ofrecen una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a las deformaciones estructurales, lo que es fundamental en infraestructuras que están sujetas a cambios de presión o movimientos del suelo. Los recubrimientos poliméricos también son altamente resistentes a los rayos UV, lo que los hace ideales para estructuras expuestas al sol y a otras condiciones climáticas extremas. (Mollideno, 2014)

Un ejemplo notable de la aplicación de estos materiales es su uso en tuberías de gran diámetro y en sistemas de alcantarillado, donde se requiere una protección adicional contra la corrosión interna causada por gases y productos químicos agresivos. En estos casos, los recubrimientos de polímeros no solo previenen el deterioro de las paredes internas de las tuberías, sino que también contribuyen a reducir los costos de mantenimiento, al minimizar la necesidad de reparaciones y reemplazos frecuentes. En cuanto a la aplicación de estos materiales, los compuestos epóxicos y los recubrimientos de polímeros se pueden aplicar mediante diferentes métodos, como el rociado, la brocha o el rodillo. El proceso de aplicación es crítico para garantizar que el revestimiento se adhiera correctamente a la superficie y proporcione la máxima protección. Generalmente, las superficies deben prepararse adecuadamente, lo que incluye la limpieza exhaustiva para eliminar cualquier partícula, suciedad o contaminante que pueda interferir con la adhesión del recubrimiento. En algunos casos, se aplican capas adicionales para aumentar el espesor del recubrimiento y mejorar su capacidad de protección. Otra ventaja significativa de estos materiales es su capacidad de personalización. Dependiendo de los requisitos específicos de la obra hidráulica, los compuestos epóxicos y los recubrimientos poliméricos pueden modificarse para mejorar determinadas propiedades, como la resistencia a



altas temperaturas, la flexibilidad o la impermeabilidad. Esto permite adaptar los revestimientos a una amplia gama de aplicaciones y condiciones ambientales, lo que aumenta su versatilidad y eficacia en diversas infraestructuras. Además, en comparación con los materiales tradicionales, como el concreto o el acero, los compuestos epóxicos y los recubrimientos de polímeros tienen un impacto ambiental relativamente bajo. Muchos de estos materiales son no tóxicos y no liberan compuestos dañinos al ambiente durante su vida útil. Esto es especialmente importante en proyectos de infraestructuras hidráulicas, donde se debe tener en cuenta la preservación de la calidad del agua y del entorno natural. (Gonzales, 2016)

Los compuestos epóxicos y los recubrimientos de polímeros han revolucionado la protección de las infraestructuras hidráulicas modernas, al ofrecer una combinación de resistencia química, durabilidad mecánica y protección contra agentes biológicos. Estos materiales no solo prolongan la vida útil de las estructuras, sino que también reducen los costos de mantenimiento y mejoran la eficiencia operativa. Gracias a su flexibilidad, personalización y adaptabilidad, continúan siendo esenciales en proyectos de ingeniería hidráulica, garantizando la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las obras a largo plazo.

#### 4.3.4 Materiales Artificiales

Los materiales artificiales han revolucionado el campo de las obras hidráulicas, ofreciendo una variedad de soluciones avanzadas que no solo mejoran la eficiencia de las infraestructuras, sino que también aumentan significativamente su durabilidad y resistencia frente a las condiciones adversas. Estos materiales han sido desarrollados para cumplir con especificaciones técnicas muy precisas, adaptándose a diferentes necesidades, como la impermeabilización, resistencia a la erosión, y la capacidad de soportar presiones mecánicas elevadas. A lo largo del tiempo, la ingeniería ha perfeccionado el uso de estos materiales, con avances constantes que permiten abordar desafíos más complejos en la gestión del agua y en la construcción de infraestructuras hidráulicas. (Jacome, 2023)



#### 4.3.4.1 Concreto

El concreto es uno de los materiales más versátiles y esenciales en la ingeniería moderna, particularmente en las infraestructuras hidráulicas, como presas, canales, diques y túneles. Su capacidad para adaptarse a diversas formas, su durabilidad y su resistencia lo hacen fundamental en cualquier proyecto de construcción a gran escala. A lo largo de la historia, el concreto ha evolucionado significativamente, y con la llegada del concreto reforzado, su uso se ha expandido aún más, proporcionando no solo resistencia a la compresión, sino también la capacidad de soportar tensiones más altas cuando se combina con acero.

El concreto reforzado (RC) es una combinación de concreto y barras de acero que aumentan la resistencia del material, distribuyendo de manera uniforme las tensiones que se generan en la estructura, especialmente en infraestructuras que están sometidas a grandes fuerzas, como las presas o los muros de contención. En las obras hidráulicas, donde el agua ejerce presiones constantes y hay que manejar grandes volúmenes, el concreto reforzado asegura que las estructuras puedan soportar tanto las fuerzas hidrostáticas como el desgaste por el flujo de agua. Este tipo de concreto permite crear infraestructuras más seguras y duraderas, reduciendo al mismo tiempo los costos de mantenimiento a largo plazo. Uno de los beneficios más importantes del concreto en las obras hidráulicas es su capacidad para ofrecer resistencia al agua. En zonas donde la exposición constante al agua puede deteriorar rápidamente otros materiales, el concreto ofrece una barrera sólida y duradera. Para mejorar aún más esta capacidad, se han desarrollado mezclas especiales de concreto impermeable, que tienen la ventaja de reducir significativamente la penetración del agua en la estructura. Estas mezclas contienen aditivos que disminuyen la porosidad del concreto, lo que lo convierte en un material ideal para revestir canales, embalses y otras infraestructuras donde la impermeabilidad es crucial. Este tipo de concreto no solo evita filtraciones, sino que también protege las estructuras contra el debilitamiento y la corrosión causados por el agua. (Ren, 2009)



En muchas aplicaciones, se utiliza también el concreto proyectado, una variante que es aplicada mediante máquinas que lo proyectan a alta velocidad sobre las superficies. Este método es especialmente útil en la construcción de túneles y revestimientos de taludes en obras hidráulicas, ya que permite una instalación rápida y uniforme, garantizando una excelente adhesión incluso en superficies irregulares. El concreto proyectado es una opción eficiente para proteger las infraestructuras hidráulicas contra la erosión y el desgaste, ya que, al ser aplicado en capas delgadas y continuas, forma una barrera resistente que puede adaptarse a diferentes tipos de terreno. Otro avance significativo en el uso del concreto en infraestructuras hidráulicas ha sido el desarrollo del concreto de alto rendimiento (HPC), que combina resistencia mecánica superior con durabilidad extendida. Este tipo de concreto utiliza aditivos y mejoras en la mezcla que le permiten soportar condiciones ambientales extremas, como el congelamiento y descongelamiento, así como la exposición a productos químicos agresivos que pueden encontrarse en ciertas aguas. En aplicaciones donde la infraestructura hidráulica está expuesta a estas condiciones, como en represas situadas en climas fríos o en ambientes industriales, el concreto de alto rendimiento garantiza que las estructuras permanezcan intactas durante décadas sin necesidad de reparaciones importantes. (Bagnoli, 2015)

Un ejemplo concreto del uso innovador de este material es la presa Hoover, construida en 1935 en el río Colorado, Estados Unidos. En esta mega estructura se emplearon más de 3.3 millones de metros cúbicos de concreto, una cantidad masiva que sirvió para crear un bloque sólido y duradero capaz de contener el enorme volumen de agua del embalse detrás de la presa. La clave del éxito de esta obra fue no solo la cantidad de concreto, sino también la planificación meticulosa que se tuvo en cuenta para evitar que se formaran grietas y asegurarse de que el concreto se curara correctamente, evitando fallas estructurales en el futuro. En términos de sostenibilidad y adaptación a las necesidades modernas, el concreto también ha avanzado hacia soluciones más ecológicas. Los concretos verdes, que incluyen materiales reciclados y producen menos emisiones de CO<sub>2</sub> durante su fabricación, están siendo cada vez más utilizados en



proyectos de construcción hidráulica. Este tipo de concreto no solo cumple con los requisitos estructurales y de durabilidad, sino que también reduce el impacto ambiental de las grandes infraestructuras. Esto es especialmente relevante hoy en día, cuando la industria de la construcción busca métodos más sostenibles para reducir la huella de carbono de los grandes proyectos de ingeniería. (Berga, 1990)

El concreto, tanto en su forma tradicional como reforzada o de alto rendimiento, sigue siendo uno de los pilares fundamentales en la construcción de infraestructuras hidráulicas. Su capacidad para adaptarse a distintas condiciones, resistir el paso del tiempo y mejorar constantemente con nuevos desarrollos tecnológicos lo posiciona como un material indispensable para las obras que requieren durabilidad y resistencia frente a la acción erosiva del agua y otros factores ambientales.

#### 4.3.4.2 Cemento Portland

El cemento Portland ha sido uno de los desarrollos más trascendentales en la historia de la construcción, especialmente en obras hidráulicas. Inventado en 1824 por Joseph Aspdin, su introducción marcó una nueva era en la ingeniería, permitiendo la creación de estructuras mucho más resistentes y duraderas. Se denomina "Portland" debido a su similitud visual con una piedra caliza que se extraía en la isla de Portland, en Inglaterra, aunque su composición química y propiedades lo diferencian notablemente de la piedra natural.

El cemento Portland es un polvo fino, principalmente compuesto por clínker, que es una mezcla de caliza y arcilla calcinadas a altas temperaturas. Su capacidad para endurecerse al mezclarse con agua, formando una pasta que se convierte en una masa sólida y resistente, lo ha convertido en un componente esencial en la construcción de infraestructuras hidráulicas. La resistencia del cemento Portland lo hace ideal para obras como presas, canales, túneles, alcantarillas y muelles, donde las estructuras están sometidas a la presión y la acción constante del agua. Estas propiedades lo convierten en un material especialmente útil para revestir y



proteger superficies que están en contacto con corrientes de agua, ya que su durabilidad minimiza los problemas de desgaste y deterioro. Uno de los beneficios más notables del cemento Portland es su capacidad para resistir condiciones agresivas presentes en entornos hidráulicos, como la presencia de sulfatos y cloruros, que pueden deteriorar otros materiales con el tiempo. En proyectos cercanos a cuerpos de agua salina o en terrenos con suelos contaminados, donde la exposición a estos elementos es común, el cemento Portland se mezcla con aditivos que mejoran sus propiedades, como la resistencia a los sulfatos, evitando la formación de sales expansivas que podrían causar grietas y la desintegración de las estructuras. Este es el caso de muchas presas y canales construidos en regiones costeras o en zonas con aguas subterráneas ricas en minerales agresivos. (Ferre, 2017)

A lo largo del siglo XX y XXI, se han desarrollado diversas variantes del cemento Portland para adaptarse a diferentes necesidades y condiciones ambientales. Entre estas variantes se incluyen el cemento Portland resistente a los sulfatos, utilizado en estructuras que están expuestas a aguas agresivas o suelos con altas concentraciones de sulfatos. Este tipo de cemento es especialmente valioso en obras hidráulicas donde la protección contra el ataque químico es crucial, como en desagües, estaciones de bombeo, presas y canales que están en contacto con agua de mar o aguas residuales industriales. Asimismo, el cemento Portland se ha adaptado para mejorar la impermeabilidad de las estructuras. En la construcción de túneles y canales, donde la infiltración de agua puede causar grandes problemas, se han desarrollado mezclas de cemento Portland que reducen significativamente la porosidad del concreto, mejorando su capacidad para actuar como una barrera efectiva contra la entrada de agua. Esta propiedad es fundamental en la creación de revestimientos impermeables para diques, embalses y canales, donde la integridad estructural y la capacidad de retener agua son aspectos críticos. Otro aspecto que hace al cemento Portland indispensable en obras hidráulicas es su alta trabajabilidad. Al poder combinarse fácilmente con agregados de diferentes tamaños y características, permite una gran versatilidad en el diseño y construcción de estructuras. Además, la facilidad con la que puede ser moldeado



en diferentes formas y tamaños lo hace ideal para crear estructuras personalizadas o con geometrías complejas, como los aliviaderos, presas y canales curvilíneos. En estos casos, el cemento Portland no solo ofrece resistencia y durabilidad, sino también la capacidad de adaptarse a las exigencias específicas del proyecto. (García, 2022)

En grandes obras de infraestructura hidráulica, como la presa Hoover en Estados Unidos o el Canal de Panamá, el uso de cemento Portland ha sido crucial. En la presa Hoover, por ejemplo, se emplearon cantidades masivas de cemento Portland para construir una de las estructuras más grandes y duraderas del mundo, capaz de resistir la presión de millones de toneladas de agua. En el Canal de Panamá, el cemento Portland también jugó un papel esencial al revestir las paredes de las esclusas, permitiendo que esta obra colosal funcione de manera eficiente durante más de un siglo, con mínimos problemas estructurales relacionados con la acción del agua. Además de su resistencia estructural y capacidad para soportar el paso del tiempo, el cemento Portland es un material relativamente económico y ampliamente disponible, lo que lo convierte en una opción preferida en la construcción de infraestructuras hidráulicas en todo el mundo. Aunque su fabricación requiere altas cantidades de energía y emite dióxido de carbono, en las últimas décadas se han implementado avances tecnológicos que buscan reducir el impacto ambiental del cemento Portland. Estos incluyen la utilización de materiales reciclados en su producción y el desarrollo de cementos de bajo carbono. (Caffaro, 2010)

El cemento Portland ha revolucionado la construcción de obras hidráulicas desde su invención. Su resistencia, durabilidad y versatilidad lo han hecho indispensable en la creación de presas, canales y túneles, permitiendo a la ingeniería moderna desarrollar infraestructuras más robustas y sostenibles. Los avances continuos en su composición y aplicación garantizan que seguirá siendo una piedra angular en el desarrollo de proyectos hidráulicos a nivel mundial.



#### 4.3.4.3 Ladrillos y Bloques de Concreto

Los ladrillos y bloques de concreto son elementos fundamentales en la construcción moderna de obras hidráulicas, particularmente en canales, muros de contención, diques y otras estructuras sometidas a la acción constante del agua. Su versatilidad y facilidad de instalación los convierten en materiales altamente demandados en proyectos de ingeniería civil, donde se requiere una combinación de resistencia, durabilidad y eficiencia en el proceso constructivo. (López. 2020)

En primer lugar, uno de los mayores beneficios de estos materiales es su resistencia mecánica. Los ladrillos y bloques de concreto tienen la capacidad de soportar tanto las fuerzas de compresión como las tensiones laterales que genera el flujo constante de líquidos, lo que los hace ideales para infraestructuras que deben resistir presiones ejercidas por cuerpos de agua, ya sea en ríos, canales, embalses o instalaciones de drenaje. Esta resistencia es crucial en muros de contención, donde la estabilidad estructural depende de la capacidad de los materiales para soportar la presión hidrostática ejercida por el agua, especialmente en momentos de aumento de caudal o inundaciones. Los ladrillos y bloques de concreto poseen una excelente resistencia al agua. Aunque el concreto poroso puede ser susceptible a la infiltración, la tecnología moderna ha desarrollado mezclas de concretos impermeables que minimizan la absorción de agua, lo que protege las estructuras de la erosión interna. Esto es particularmente útil en proyectos donde la impermeabilización es un factor clave, como en canales de riego o sistemas de drenaje, donde el control del flujo de agua debe mantenerse de manera constante. En algunos casos, se aplican recubrimientos impermeabilizantes adicionales sobre los ladrillos y bloques de concreto para reforzar esta propiedad, prolongando la vida útil de las obras y reduciendo la necesidad de mantenimiento a largo plazo. Otro aspecto que favorece el uso de ladrillos y bloques de concreto es su flexibilidad en el diseño. Estos materiales pueden ser moldeados en diferentes formas y tamaños, lo que facilita la construcción de estructuras con formas complejas o adaptadas a los contornos del terreno. Por ejemplo, en la construcción de canales con curvas o en terrenos



irregulares, los bloques de concreto pueden ser cortados y ensamblados para ajustarse a la geometría necesaria, asegurando un ajuste preciso y una integridad estructural adecuada. Además, esta capacidad de modularidad permite la creación de diseños personalizados para obras específicas, lo que optimiza el uso de materiales y reduce el desperdicio. (Mamani, 2024)

Desde un punto de vista constructivo, los ladrillos y bloques de concreto también se destacan por su facilidad de instalación. A diferencia de otros materiales que requieren procesos más complicados o especializados, los ladrillos y bloques pueden ser instalados de manera relativamente rápida por obreros capacitados, utilizando técnicas convencionales de albañilería. Esto no solo acelera los tiempos de construcción, sino que también reduce los costos asociados a la mano de obra y maquinaria. La facilidad de manejo de estos materiales es otro punto a su favor, especialmente en proyectos de infraestructura en áreas rurales o de difícil acceso, donde las soluciones constructivas deben ser eficientes y económicas.

La sostenibilidad es otro factor que ha impulsado el uso de ladrillos y bloques de concreto en las últimas décadas. Al ser fabricados principalmente a partir de materiales abundantes como cemento, arena y agregados, estos productos tienen un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con otros materiales de construcción más intensivos en recursos. Además, en muchos países se ha promovido la utilización de concreto reciclado en la producción de bloques, lo que ayuda a reducir el uso de materias primas vírgenes y disminuye la huella de carbono del proceso constructivo. Esto es especialmente relevante en proyectos de gran envergadura, donde el volumen de materiales utilizados puede ser significativo. Un ejemplo del uso de ladrillos y bloques de concreto en obras hidráulicas es su empleo en la construcción de muros de contención en sistemas de protección contra inundaciones. En áreas urbanas propensas a inundaciones o en terrenos inestables, los muros de contención revestidos con ladrillos y bloques de concreto permiten una defensa eficaz contra el agua, reduciendo el riesgo de deslizamientos y protegiendo infraestructuras críticas como carreteras, puentes o áreas residenciales. Estos muros no solo



estabilizan el terreno, sino que también dirigen el flujo de agua de manera controlada, previniendo el daño causado por la erosión. (Rincón, 2016)

Los ladrillos y bloques de concreto representan una solución versátil y eficiente para la construcción de obras hidráulicas. Sus propiedades de resistencia, durabilidad, facilidad de instalación y flexibilidad en el diseño los han consolidado como una opción preferida en proyectos que requieren estabilidad estructural y control del agua. A medida que la ingeniería avanza y se desarrollan nuevas tecnologías para mejorar sus características, estos materiales seguirán desempeñando un papel central en la infraestructura hidráulica del futuro.

#### 4.3.5 Materiales Bituminoso

Los materiales bituminosos, principalmente representados por el asfalto y otros derivados del petróleo, son esenciales para garantizar la impermeabilización en obras hidráulicas. Estos materiales se caracterizan por su capacidad de formar una barrera impermeable que protege las estructuras de la infiltración de agua, lo que es crucial en sistemas donde la retención y el control del agua son vitales. Utilizados desde hace siglos en diversas culturas, como los sumerios, que aplicaban betún natural para impermeabilizar canales, su desarrollo moderno ha expandido su uso a infraestructuras hidráulicas a gran escala. (Vie, 1968)

##### 4.3.5.1 Asfalto

El asfalto es uno de los materiales más destacados en el campo de la ingeniería hidráulica debido a su capacidad para crear superficies impermeables y duraderas, especialmente en estructuras que deben resistir la presión constante del agua, como canales y embalses. Este material, derivado del petróleo, posee propiedades que lo hacen ideal para sellar superficies y evitar filtraciones de agua, contribuyendo a la estabilidad y longevidad de las infraestructuras. Su empleo en la impermeabilización de estructuras no solo proporciona una barrera sólida contra el agua, sino que también mejora la resistencia frente a los agentes erosivos, tanto mecánicos como químicos. (García, 2023)



El uso del asfalto en revestimientos de canales tiene como principal objetivo evitar la filtración del agua a través del suelo o las paredes del canal. Esto es esencial en sistemas de riego o canales de conducción de agua, donde las pérdidas por infiltración pueden ser significativas. Al recubrir el interior del canal con asfalto, se consigue crear una superficie impermeable que mantiene el agua contenida, optimizando así su uso y reduciendo los costes asociados a la pérdida de recursos hídricos. Este tipo de revestimiento bituminoso se caracteriza por su flexibilidad y capacidad de adaptarse a las posibles deformaciones que puedan ocurrir en el terreno, sin que se produzcan grietas que comprometan su función impermeable. En embalses, el asfalto se utiliza en la construcción de presas y como revestimiento en las paredes del embalse para prevenir filtraciones hacia las capas subterráneas. Esto es especialmente importante en áreas donde la estabilidad del terreno puede verse comprometida por la acumulación de agua. El asfalto actúa como una barrera que protege las paredes y el fondo del embalse, evitando que el agua se infiltre en el suelo circundante y cause posibles deslizamientos de tierra o erosión. Además, su capacidad para resistir la presión y el peso del agua acumulada lo convierte en un material confiable en estas aplicaciones. La flexibilidad del asfalto es una de sus principales ventajas frente a otros materiales más rígidos. En proyectos donde se prevén posibles movimientos estructurales debido a variaciones en el terreno, el asfalto tiene la capacidad de adaptarse sin sufrir fracturas. Este comportamiento es crucial en la construcción de presas de tierra o de materiales sueltos, donde el revestimiento debe poder acomodarse a los cambios en la estructura del terreno sin perder su capacidad impermeable. Al aplicar capas de asfalto compactado, se garantiza una cobertura uniforme que previene la formación de grietas por movimientos internos, asegurando así la integridad de la obra. (Valenzela, 2003)

En muchas aplicaciones de ingeniería hidráulica, el asfalto se utiliza en combinación con agregados, como grava o arena, para mejorar sus propiedades mecánicas y proporcionar una mayor resistencia. Estas mezclas bituminosas se compactan sobre la superficie que se desea impermeabilizar, formando una capa densa y uniforme. En el caso de las presas, este tipo de



recubrimiento bituminoso se coloca en múltiples capas, cada una compactada cuidadosamente para formar una estructura hermética que previene filtraciones. La combinación de asfalto y agregados ofrece una excelente resistencia a las fuerzas hidrostáticas y mecánicas, prolongando la vida útil de las presas y garantizando su eficiencia operativa.

En la construcción de canales y embalses, el asfalto no solo proporciona una barrera impermeable, sino que también mejora la resistencia al desgaste causado por el flujo constante de agua. A medida que el agua circula a gran velocidad, puede provocar erosión en los materiales que recubren las paredes del canal o embalse. El asfalto, al ser un material elástico y resistente, minimiza este tipo de desgaste, manteniendo las superficies protegidas y en buen estado a lo largo del tiempo. Además, al ser un material no corrosivo, el asfalto tiene una gran resistencia a los agentes químicos presentes en el agua, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en sistemas que transportan agua con alta carga de sólidos o productos químicos agresivos. Un aspecto clave del uso de asfalto en obras hidráulicas es su facilidad de instalación y mantenimiento. El asfalto puede aplicarse de manera rápida y eficiente, permitiendo cubrir grandes extensiones de superficie en poco tiempo. Esto resulta ventajoso en proyectos de gran envergadura como canales o embalses, donde el tiempo de construcción es un factor crítico. Además, en caso de que se produzcan daños en el revestimiento, la reparación del asfalto es relativamente sencilla y no requiere procedimientos costosos ni complicados. Las capas de asfalto dañadas pueden reemplazarse o repararse sin necesidad de dismantelar la estructura completa, lo que reduce considerablemente los costes de mantenimiento. (García, 2018)

El empleo de asfalto en la construcción de infraestructuras hidráulicas ha sido fundamental para mejorar la eficiencia y la seguridad de estas obras a lo largo del tiempo. Su capacidad para crear barreras impermeables, resistir condiciones adversas y adaptarse a los movimientos del terreno ha consolidado su uso en todo el mundo. A medida que la demanda de agua y la necesidad de infraestructuras hídricas sostenibles continúa en aumento, el asfalto sigue



siendo una opción fiable y eficiente para garantizar la protección de los recursos hídricos y la durabilidad de las infraestructuras.

#### 4.3.5.2 Betún Modificado

El betún modificado con polímeros es un material bituminoso que ha transformado significativamente el panorama de la ingeniería hidráulica moderna, al ofrecer mejoras en comparación con los materiales bituminosos convencionales, como el asfalto. Este compuesto resulta de la mezcla de betún con polímeros, los cuales le otorgan características superiores de flexibilidad, durabilidad y resistencia a deformaciones, siendo capaz de soportar condiciones ambientales más extremas que el asfalto tradicional. (Araya, 2012)

El uso del betún modificado se ha vuelto cada vez más común en proyectos de infraestructura hidráulica debido a su capacidad para adaptarse a las demandas mecánicas y ambientales de las obras modernas. Su flexibilidad le permite resistir deformaciones estructurales que pueden ocurrir como resultado de la acción del agua, movimientos del terreno o cambios de temperatura. Esto es especialmente importante en obras hidráulicas sometidas a presiones constantes, como presas, canales o embalses, donde el material está en contacto permanente con el agua y debe mantener sus propiedades a lo largo del tiempo. Una de las propiedades más notables del betún modificado es su capacidad de soportar deformaciones sin perder sus cualidades impermeables. Esta propiedad lo hace ideal para proyectos de canalización de ríos, revestimientos de embalses y presas, donde es necesario un material que no solo sea impermeable, sino que también sea capaz de resistir movimientos sísmicos, asentamientos del terreno o los ciclos de congelación y descongelación que pueden debilitar otros materiales de revestimiento. Otro de los aspectos clave del betún modificado con polímeros es su resistencia a agentes químicos. En muchas obras hidráulicas, especialmente en ambientes marítimos o cerca de estuarios, el agua puede contener productos químicos agresivos como sulfatos y cloruros, que pueden degradar rápidamente los materiales convencionales. En este contexto, el betún



modificado ha demostrado ser altamente resistente a estos compuestos, prolongando la vida útil de las infraestructuras hidráulicas en condiciones adversas.

Los polímeros que se añaden al betún pueden ser de distintos tipos, dependiendo de las propiedades que se deseen potenciar. En algunos casos, se usan polímeros elastoméricos para incrementar la elasticidad del material, lo que le permite recuperar su forma original después de haber sido sometido a deformaciones, algo crucial para la durabilidad de las estructuras hidráulicas. En otros casos, se añaden polímeros plastoméricos que incrementan la rigidez del material, haciéndolo más resistente a las cargas pesadas y a las presiones ejercidas por el agua. Las mezclas de betún modificado también se utilizan en la impermeabilización de túneles, ya que su capacidad de sellado y resistencia a las filtraciones hacen que el agua no penetre en las estructuras subterráneas. Esta propiedad resulta esencial en túneles que atraviesan áreas con altos niveles freáticos o zonas propensas a inundaciones. El desarrollo de esta tecnología ha permitido que los proyectos de ingeniería hidráulica sean más eficientes y sostenibles. A pesar de que el betún modificado con polímeros puede ser más costoso que el betún convencional, su vida útil prolongada y su resistencia a la necesidad de mantenimiento frecuente compensan los costos adicionales, convirtiéndolo en una opción rentable a largo plazo. Además, la capacidad de estos materiales para resistir la degradación química y mecánica reduce la frecuencia de reparaciones, lo que disminuye el impacto ambiental y económico del mantenimiento continuo. (Munera, 2014)

Otro aspecto clave es que el betún modificado ha evolucionado en línea con las necesidades actuales de sostenibilidad en la ingeniería. Los investigadores han trabajado en la incorporación de polímeros reciclados en las mezclas de betún, lo que no solo mejora el rendimiento del material, sino que también contribuye a la reducción de residuos y la promoción de prácticas constructivas más respetuosas con el medio ambiente. Esto se alinea con el creciente interés en las tecnologías de construcción verde y el desarrollo de infraestructuras más sostenibles, donde la durabilidad y el bajo impacto ambiental son prioridades. A pesar de todas estas ventajas, la adopción del betún modificado con polímeros también presenta algunos desafíos. Uno de ellos



es el costo inicial, ya que la producción de este material es más compleja y requiere de tecnología más avanzada en comparación con el asfalto convencional. No obstante, los beneficios en términos de durabilidad y resistencia lo convierten en una opción atractiva para proyectos de gran envergadura donde la seguridad y la longevidad son aspectos fundamentales. (Airey, 2002)

El betún modificado con polímeros ha transformado las obras hidráulicas modernas al proporcionar un material con propiedades mejoradas frente a las condiciones ambientales y mecánicas exigentes. Su capacidad de impermeabilización, flexibilidad, resistencia a agentes químicos y a deformaciones lo convierten en una solución avanzada para garantizar la protección y durabilidad de infraestructuras clave como presas, canales, túneles y embalses, marcando una evolución importante en los materiales bituminosos utilizados en la ingeniería hidráulica.

#### 4.3.6 Materiales Sostenibles

En la actualidad, los materiales sostenibles han cobrado una importancia crucial en la construcción y mantenimiento de obras hidráulicas, reflejando el enfoque global en el desarrollo de tecnologías más amigables con el medio ambiente. Las prácticas tradicionales de construcción, que dependían principalmente de materiales no renovables y métodos intensivos en energía, están siendo reevaluadas a favor de soluciones que minimicen el impacto ambiental y fomenten la eficiencia energética. El uso de materiales sostenibles en las obras hidráulicas no solo busca prolongar la vida útil de las infraestructuras, sino también preservar los recursos naturales y reducir la huella de carbono asociada a la construcción y el mantenimiento de estas estructuras.

Uno de los enfoques más destacados en el desarrollo de materiales sostenibles es el uso de recursos reciclados. El concreto reciclado, por ejemplo, es una alternativa que ha ganado popularidad. A través de la trituración y reutilización de escombros de construcciones anteriores, es posible producir un material que conserva muchas de las propiedades del concreto tradicional, pero con un menor impacto ambiental. Este tipo de concreto es utilizado en la construcción de canales, presas y otras obras hidráulicas, y además contribuye a la reducción de residuos y al



ahorro de recursos naturales como grava y arena. Aunque el concreto reciclado presenta algunas limitaciones en términos de resistencia en comparación con el concreto tradicional, su uso en estructuras menos exigentes es una opción viable y eficiente. (Cabrera, 2010)

#### 4.3.6.1 Materiales reciclados

Los materiales reciclados han emergido como una solución clave en el desarrollo de infraestructuras sostenibles, particularmente en el ámbito de las obras hidráulicas. Estos materiales permiten no solo reducir la extracción de recursos naturales, sino también mitigar el impacto ambiental de la construcción al minimizar la generación de residuos y las emisiones de carbono asociadas con los procesos convencionales de fabricación y transporte de materiales. En este contexto, el uso de concreto y agregados reciclados, junto con otros subproductos industriales, está ganando relevancia como una alternativa ecológica y económicamente viable.

El concreto reciclado es uno de los materiales más importantes en este avance. Se obtiene mediante la trituración de escombros de estructuras de concreto en desuso, como edificios demolidos, carreteras o puentes, que luego se procesan para crear un nuevo material apto para la construcción. A pesar de que el concreto reciclado puede tener una resistencia ligeramente inferior al concreto virgen, sigue siendo adecuado para muchas aplicaciones en obras hidráulicas, como en el revestimiento de canales o estructuras de contención de agua, donde las exigencias mecánicas no son tan críticas como en otras infraestructuras de mayor envergadura. Además, el uso de concreto reciclado puede ayudar a reducir el costo total de los proyectos, ya que el material reciclado es menos costoso que el concreto tradicional debido a la reducción en la demanda de materia prima y la eliminación de los costos de eliminación de residuos. Otro uso importante de los agregados reciclados proviene de la reutilización de materiales como grava, arena y otros elementos rocosos que se recuperan de demoliciones o excavaciones. Estos agregados pueden emplearse como sustitutos de los agregados naturales en la producción de concreto o directamente como revestimiento en obras hidráulicas. Al igual que con el concreto reciclado, los agregados reciclados reducen la necesidad de extracción de nuevas materias primas,



lo que conlleva una menor alteración del entorno natural, especialmente en la minería de áridos y grava, que puede tener un impacto devastador en los ecosistemas locales. (Huamani, 2020)

Uno de los principales beneficios del uso de materiales reciclados es la reducción de las emisiones de carbono durante el proceso de construcción. El concreto y los agregados reciclados requieren menos energía para su procesamiento en comparación con la producción de materiales nuevos, lo que disminuye la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera. Esta ventaja es significativa en obras hidráulicas de gran envergadura, como presas, canales y plantas de tratamiento de agua, donde las cantidades de materiales necesarios son enormes y la reducción de emisiones puede tener un impacto considerable en los esfuerzos globales para combatir el cambio climático. Asimismo, el uso de subproductos industriales en la producción de materiales de revestimiento para obras hidráulicas está en auge. Entre estos subproductos, destacan las cenizas volantes, un residuo generado en las plantas termoeléctricas que queman carbón. Las cenizas volantes se utilizan como aditivo en el concreto, mejorando no solo su trabajabilidad y resistencia, sino también su durabilidad frente a ataques químicos, como la exposición a sulfatos, que es común en las infraestructuras hidráulicas. Este tipo de concreto modificado, conocido como concreto con cenizas volantes, es especialmente útil en la construcción de presas y canales, ya que proporciona una resistencia superior a la erosión y al desgaste provocado por el agua en movimiento. Otro subproducto relevante es la escoria de alto horno, un material derivado de la producción de acero, que también se puede utilizar como agregado en el concreto. La escoria no solo refuerza las propiedades mecánicas del concreto, sino que también contribuye a mejorar su resistencia al fuego y a los productos químicos agresivos, características esenciales en obras como túneles hidráulicos o plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la durabilidad y la resistencia son de vital importancia. El uso de materiales reciclados también está alineado con las tendencias modernas hacia una economía circular, en la que los recursos se utilizan de manera más eficiente y los desechos se minimizan. En este marco, muchas empresas están adoptando políticas de reciclaje en sitio, donde los materiales de desecho generados durante la construcción de una obra



hidráulica se procesan y reutilizan directamente en el mismo proyecto, lo que reduce el transporte de materiales y, por ende, las emisiones asociadas. (Xargay, 2019)

Sin embargo, el uso de materiales reciclados en obras hidráulicas también presenta algunos desafíos. Uno de los principales es garantizar la calidad y uniformidad de los materiales reciclados, ya que su composición puede variar dependiendo de la fuente de los escombros o residuos utilizados. Esto requiere un control de calidad riguroso durante el proceso de reciclaje para asegurar que los materiales cumplan con las normativas y especificaciones técnicas necesarias para garantizar la seguridad y durabilidad de las infraestructuras. A pesar de estos desafíos, el uso de materiales reciclados sigue ganando terreno en el sector de la construcción hidráulica, impulsado por la creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de adoptar prácticas más responsables desde el punto de vista ambiental. Las innovaciones en las técnicas de reciclaje, así como la mejora continua en los procesos de producción de concreto y agregados reciclados, están permitiendo que estos materiales jueguen un papel cada vez más importante en la construcción de infraestructuras hidráulicas, contribuyendo a la creación de obras más ecológicas, eficientes y duraderas. (Davor, 2024)

El uso de concreto reciclado, agregados reciclados y subproductos industriales en el revestimiento de obras hidráulicas es una tendencia en crecimiento que está ayudando a transformar la industria de la construcción. Estos materiales no solo ofrecen una solución ecológica al reducir la demanda de recursos naturales y minimizar los residuos, sino que también mejoran la eficiencia y reducen el costo de las infraestructuras hidráulicas a largo plazo. En un mundo donde la sostenibilidad se está convirtiendo en una prioridad global, los materiales reciclados son una pieza clave para el futuro de la ingeniería hidráulica.

#### 4.3.6.2 Biopolímeros

Los biopolímeros representan un avance significativo en la búsqueda de materiales sostenibles para el revestimiento de obras hidráulicas. A diferencia de los polímeros sintéticos



tradicionales, que provienen de fuentes fósiles no renovables y pueden tardar siglos en descomponerse, los biopolímeros son derivados de fuentes renovables como plantas, algas o incluso residuos agrícolas. Esta capacidad de ser biodegradables y su origen natural los convierten en una opción ideal para proyectos donde se busca minimizar el impacto ambiental, especialmente en obras relacionadas con el manejo de recursos hídricos, donde la preservación del entorno es fundamental.

Uno de los principales beneficios de los biopolímeros es su biodegradabilidad. A diferencia de los plásticos convencionales que, al finalizar su vida útil, se descomponen en micro plásticos contaminantes, los biopolímeros pueden degradarse completamente sin liberar sustancias tóxicas. Esta propiedad es crucial en entornos acuáticos y naturales, donde la acumulación de residuos plásticos puede tener un impacto negativo significativo en la fauna, flora y calidad del agua. En obras hidráulicas, los biopolímeros pueden utilizarse en revestimientos temporales o permanentes, sin el riesgo de dejar una huella contaminante a largo plazo. El uso de fuentes renovables para la producción de biopolímeros también ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, lo que contribuye a una menor emisión de gases de efecto invernadero. A través de cultivos especializados, como maíz, caña de azúcar o incluso algas, se puede generar el material básico para la creación de biopolímeros. Este proceso es inherentemente más sostenible que la extracción y refinación de petróleo, que es necesario para la producción de plásticos tradicionales. Además, la economía circular promovida por los biopolímeros puede integrar los residuos orgánicos en el ciclo de producción, disminuyendo los desechos generados en otros sectores y maximizando el uso de los recursos disponibles. (Uzcátegui, 2013)

En el contexto de las obras hidráulicas, los biopolímeros pueden ser utilizados de diversas maneras. En la impermeabilización de embalses y canales, los biopolímeros pueden formar parte de mezclas de revestimientos que garantizan la contención eficiente del agua, al tiempo que mantienen un bajo impacto ambiental. En combinación con otros materiales, como



geomembranas o geotextiles, los biopolímeros pueden mejorar las características de flexibilidad, resistencia y degradabilidad de las barreras que protegen las infraestructuras hidráulicas. En cuanto a su flexibilidad, los biopolímeros ofrecen ventajas en términos de adaptabilidad a las necesidades de cada proyecto. Algunos biopolímeros, como el ácido poli láctico (PLA) derivado del maíz, son lo suficientemente maleables como para ser moldeados en diferentes formas y estructuras, desde láminas delgadas hasta componentes más gruesos y resistentes. Esta versatilidad permite que los biopolímeros se adapten a diferentes aplicaciones dentro de las obras hidráulicas, ofreciendo soluciones tanto para revestimientos grandes como pequeños. A su vez, la compatibilidad con tecnologías avanzadas de producción, como la impresión 3D, abre nuevas posibilidades en la fabricación personalizada de componentes de revestimiento. Otro aspecto a destacar de los biopolímeros es su potencial para ser modificados químicamente para cumplir con requisitos específicos. Por ejemplo, se pueden mejorar sus propiedades mecánicas o de resistencia al agua mediante la adición de compuestos o el uso de mezclas con otros materiales. Esto es particularmente útil en entornos hidráulicos donde las estructuras están sometidas a presión constante, erosión o fluctuaciones en el nivel del agua. De este modo, los biopolímeros pueden competir directamente con otros materiales sintéticos, ofreciendo una resistencia adecuada sin comprometer la sostenibilidad. (Alendy, 2018)

A pesar de todas estas ventajas, el uso de biopolímeros en obras hidráulicas aún enfrenta algunos desafíos. El principal obstáculo es su costo, que en la actualidad es mayor en comparación con los polímeros tradicionales, debido a la escala relativamente pequeña de producción y la complejidad de los procesos de extracción y refinamiento. Sin embargo, a medida que la demanda de soluciones sostenibles continúe creciendo y se invierta más en investigación y desarrollo, es probable que el costo de los biopolímeros disminuya, haciéndolos más competitivos frente a los materiales convencionales. Otro desafío es la durabilidad. Si bien los biopolímeros son biodegradables, en algunas aplicaciones de obras hidráulicas se requiere que los revestimientos sean altamente duraderos y capaces de soportar décadas de uso sin deterioro



significativo. Esto ha llevado a los investigadores a desarrollar biopolímeros de larga vida útil, que puedan ofrecer los beneficios de la biodegradabilidad sin sacrificar la resistencia y la durabilidad en aplicaciones críticas. Además, se están desarrollando recubrimientos protectores que permiten extender la vida útil de los biopolímeros, garantizando su desempeño en entornos exigentes. (Villada, 2007)

Los biopolímeros son una alternativa prometedora a los materiales tradicionales de revestimiento en obras hidráulicas. Su origen renovable, biodegradabilidad y menor impacto ambiental los convierten en una opción ideal para proyectos que buscan integrar la sostenibilidad sin comprometer la eficiencia o durabilidad de las infraestructuras. A medida que se superen los desafíos actuales y se incrementen los avances tecnológicos, es probable que los biopolímeros desempeñen un papel cada vez más importante en la construcción de obras hidráulicas más responsables con el medio ambiente y adaptadas a las exigencias del futuro.

En este capítulo recorrimos la clasificación de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas donde esta refleja la evolución constante de la ingeniería civil y el compromiso con la preservación del entorno natural. Desde el uso de materiales naturales, como piedra y arcilla, hasta la integración de soluciones innovadoras, como los biopolímeros y los geosintéticos, cada material ofrece características únicas que responden a las exigencias de cada proyecto. La implementación de estos revestimientos adecuados no solo asegura la longevidad y eficiencia de las infraestructuras, sino que también permite a los ingenieros y constructores adaptar sus métodos a las demandas ambientales y económicas actuales. El futuro del revestimiento en obras hidráulicas dependerá de la capacidad de integrar la sostenibilidad, la tecnología y la durabilidad, para enfrentar los retos de la gestión de recursos hídricos en un mundo cada vez más cambiante.



## 4.4 Capítulo 4

En este capítulo se abordarán las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de revestimiento utilizados en las obras hidráulicas, fundamentales para asegurar la durabilidad y funcionalidad de estas estructuras frente a las exigencias del entorno. Las obras hidráulicas, como presas, canales y diques, están sometidas a condiciones extremas como el flujo constante de agua, la presión ejercida por grandes masas líquidas, el impacto de sedimentos y partículas en suspensión, así como los cambios climáticos. Por lo tanto, es crucial comprender cómo se comportan los materiales bajo estas circunstancias. En este capítulo se explorarán propiedades clave como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, ductilidad, resistencia al impacto, abrasión, y otras que determinan el desempeño estructural y la longevidad de los materiales en obras hidráulicas. Además, se analizarán factores como la cohesión, la fatiga y el módulo de elasticidad, que juegan un papel determinante en la selección y aplicación de materiales adecuados para cada contexto hidráulico.

### 4.4.1 Propiedades Físicas y Mecánicas De Los Materiales de Revestimiento En Obras Hidráulicas

Las propiedades físicas de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas son fundamentales para asegurar la durabilidad, funcionalidad y resistencia de las infraestructuras sometidas a las duras condiciones que impone el agua y los elementos naturales. Estas propiedades determinan cómo un material se comporta frente a la humedad, la temperatura, las fuerzas naturales, y otros factores externos. A continuación, se detallan algunas de las propiedades físicas más importantes, explicando su relevancia y aplicaciones en el contexto de las obras hidráulicas. (Rojas, 2022)



## 4.4.2 Propiedades Físicas

### 4.4.2.1 Impermeabilidad

La impermeabilidad es una propiedad esencial en los materiales utilizados para revestir estructuras hidráulicas, ya que juega un papel determinante en la protección de las infraestructuras contra los efectos del agua. Un material que presente una buena impermeabilidad previene la penetración de agua a través de su estructura, lo que es crítico en el mantenimiento y durabilidad de las obras hidráulicas como canales, presas, estanques, diques, y túneles, entre otras. Sin esta propiedad, las estructuras quedarían expuestas a la filtración de agua, lo que podría generar daños irreversibles, desde la erosión interna hasta el colapso estructural. Las obras hidráulicas están expuestas de forma constante a la acción del agua, ya sea de forma estática, en movimiento o bajo presión. Este constante contacto con el agua puede generar una serie de problemas si no se garantiza un revestimiento impermeable adecuado. Un material que no sea impermeable puede permitir la filtración de agua, lo que aumenta el riesgo de socavación, erosión y degradación de los cimientos de la obra, afectando tanto la estabilidad del terreno como la longevidad de la infraestructura. La infiltración también puede derivar en la aparición de grietas y fisuras, empeorando la situación con el tiempo y creando fallos estructurales. La impermeabilidad no solo previene la filtración de agua, sino que también protege contra la migración de sustancias químicas disueltas en el agua, como sales o ácidos, que pueden degradar los materiales internos o causar corrosión en el acero de refuerzo, en el caso de estructuras de concreto reforzado. (Minaya, 2021)

Entre los materiales más utilizados por su capacidad de impermeabilización se encuentran el concreto impermeable, las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y el asfalto modificado:



### Concreto Impermeable

Aunque el concreto convencional tiene cierta porosidad y puede absorber agua, mediante el uso de aditivos específicos se pueden mejorar significativamente sus propiedades impermeables. Existen aditivos como los superplastificantes o compuestos sellantes que reducen la porosidad y permiten que el concreto se utilice en presas, canales o túneles sin sufrir filtraciones. En algunos casos, también se emplea concreto proyectado que permite sellar y recubrir de manera efectiva las superficies, creando una barrera física que impide el paso del agua.

### Geomembranas de Polietileno

Las geomembranas son láminas sintéticas de muy baja permeabilidad, que se utilizan ampliamente en embalses, estanques y canales. El polietileno de alta densidad (HDPE) es un tipo de polímero que se caracteriza por su alta resistencia química, lo que lo hace ideal para su uso en contextos donde se requiera una barrera impermeable en contacto con suelos porosos o aguas contaminadas. Estas membranas son flexibles y pueden cubrir grandes extensiones, lo que facilita su aplicación en una variedad de entornos. Además, al ser material sintético, su vida útil es considerablemente larga, con una alta resistencia a la radiación ultravioleta y al desgaste.

### Asfalto Modificado

Utilizado comúnmente en presas y revestimientos de canales, el asfalto modificado tiene la ventaja de ser flexible, lo que le permite adaptarse a pequeñas deformaciones o movimientos de la estructura sin perder sus propiedades impermeables. Además, cuando se combina con agregados, el asfalto puede formar capas compactas y altamente impermeables, utilizadas especialmente en la construcción de diques y otras infraestructuras que requieren una protección frente a la infiltración de agua.

Uno de los beneficios más destacados de los materiales impermeables es que permiten reducir el mantenimiento a largo plazo de las infraestructuras hidráulicas. Una estructura impermeabilizada de manera adecuada no requiere intervenciones frecuentes para corregir problemas como filtraciones o acumulación de humedad, lo que reduce los costos asociados y



extiende la vida útil de la obra. En estructuras como canales y estanques, la impermeabilidad también es clave para minimizar la pérdida de agua, lo que resulta en un uso más eficiente de los recursos hídricos. En regiones áridas o donde el agua es un recurso limitado, las pérdidas por filtración pueden ser costosas, no solo desde un punto de vista económico, sino también ambiental. El uso de geomembranas o recubrimientos impermeables en estos contextos asegura que el agua almacenada o transportada llegue a su destino sin pérdidas significativas. (Choque, 2023)

En las presas, la impermeabilidad es un factor crítico para mantener la integridad estructural y prevenir desastres. Una presa con un sistema de impermeabilización deficiente puede sufrir problemas de socavación interna, poniendo en peligro no solo la infraestructura sino también la seguridad de las zonas habitadas aguas abajo. Por esta razón, se emplean combinaciones de materiales como concreto impermeable, membranas bituminosas o polímeros, que crean una protección multicapa contra la acción del agua. Si bien la impermeabilidad es fundamental, también presenta desafíos técnicos. Los materiales deben ser seleccionados y aplicados correctamente para que mantengan sus propiedades a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el concreto puede volverse poroso si no se aplican correctamente los aditivos o si no se sigue un proceso de curado adecuado. Las geomembranas, aunque muy efectivas, requieren una correcta instalación, ya que cualquier daño o perforación durante su colocación puede comprometer su función como barrera. Otro desafío es garantizar que la impermeabilidad se mantenga incluso bajo condiciones adversas, como ciclos de congelación y descongelación, que pueden generar micro fisuras en los materiales. La expansión y contracción térmica puede afectar la capacidad del material para mantener su barrera impermeable, por lo que se requieren diseños específicos para regiones con climas extremos. (Vélez, 2010)

#### 4.4.2.2 Densidad

La densidad de un material es una propiedad física fundamental que influye significativamente en su comportamiento cuando se utiliza como revestimiento en obras



hidráulicas. Se define como la masa por unidad de volumen, y su valor determina en gran medida cómo un material responderá a diferentes fuerzas, como la presión ejercida por el flujo de agua, la erosión y el desgaste a lo largo del tiempo. En el contexto de las infraestructuras hidráulicas, donde la durabilidad y la resistencia a las condiciones adversas son cruciales, la densidad juega un papel clave en la selección de materiales apropiados.

Un material de alta densidad, como el granito o el concreto de alta calidad, posee una mayor resistencia a las fuerzas externas. Estas fuerzas incluyen tanto la presión hidráulica ejercida por el agua como la carga estática o dinámica que la estructura debe soportar. Materiales más densos tienden a tener una estructura interna más compacta, lo que reduce la presencia de vacíos o poros que podrían permitir la penetración de agua. Esto los hace menos susceptibles a la erosión o al desgaste mecánico, cualidades críticas en ambientes donde la infraestructura está en contacto constante con corrientes de agua de alta velocidad o presiones extremas, como en los diques, embalses o presas. En los canales de alta carga, donde el flujo de agua es constante y vigoroso, un revestimiento de material denso puede resistir el impacto continuo sin degradarse rápidamente. En contraste, un material de baja densidad podría desgastarse o erosionarse más fácilmente, requiriendo reparaciones o sustituciones frecuentes, lo que incrementa los costos de mantenimiento. Hay una relación entre la densidad y la durabilidad y es que la durabilidad de un material está íntimamente ligada a su densidad. Un material denso, como el concreto o el granito, tiende a ser más resistente a las condiciones adversas, lo que prolonga la vida útil de la estructura. Al tener una mayor cantidad de masa por unidad de volumen, estos materiales son menos vulnerables a la penetración de agua y a la acción de fuerzas mecánicas que pueden causar microfisuras o deformaciones. (Guzmán, 1998)

En el caso del concreto, por ejemplo, su densidad puede mejorarse mediante la selección de agregados de alta densidad y la aplicación de técnicas de compactación avanzadas, lo que lo convierte en un material ideal para estructuras que requieren soportar grandes presiones hidráulicas. Un concreto más denso presenta menor porosidad, lo que no solo lo hace más



impermeable, sino que también lo protege de la corrosión interna, un problema común cuando el agua se infiltra y provoca la oxidación del acero de refuerzo. El granito, por su parte, es uno de los materiales naturales más densos y, por lo tanto, más duraderos. Utilizado en la construcción de rompeolas y presas, el granito ofrece una resistencia sobresaliente frente a la erosión causada por el oleaje o el flujo de agua a alta velocidad. Su alta densidad garantiza que pueda soportar tanto el peso de la estructura como las fuerzas de impacto sin desintegrarse o deformarse, lo que lo convierte en una opción preferida para obras hidráulicas de larga duración. La resistencia a la erosión es otra característica importante que está directamente influenciada por la densidad de un material. La erosión es el desgaste gradual de la superficie de un material debido a la fricción constante con el agua y los sedimentos transportados por ella. Los materiales con mayor densidad presentan superficies más duras y resistentes al desgaste, lo que los protege frente al proceso erosivo. (Venegas, 2006)

Por ejemplo, en obras como los canales y las dársenas, la densidad del material de revestimiento es crucial para evitar la erosión de las paredes y el lecho del canal. En estos casos, se prefieren materiales densos como el basalto o el concreto reforzado para recubrir las superficies, ya que son capaces de resistir la abrasión causada por el flujo de agua cargado de partículas de arena o grava. En contraste, los materiales de baja densidad, como ciertas arcillas o suelos sueltos, son mucho más susceptibles a ser erosionados, lo que podría provocar la degradación rápida de la estructura y un aumento en los costos de mantenimiento. Hay aplicaciones específicas de materiales de alta densidad, como, por ejemplo:

### Diques

En la construcción de diques, la densidad del material de revestimiento es crucial para asegurar la estabilidad de la estructura. Materiales densos como el concreto y las piedras naturales se utilizan para resistir la presión del agua que se acumula contra el dique. Además, estos materiales proporcionan una barrera física que evita que el agua penetre en el cuerpo del dique, lo que podría comprometer su integridad estructural.



## Presas

En las presas, especialmente en las de gravedad, la densidad del material utilizado juega un papel esencial para contrarrestar las fuerzas ejercidas por el agua retenida. Un material más denso como el concreto masivo garantiza que la estructura pueda soportar la carga hidráulica sin sufrir deformaciones o filtraciones. En este tipo de estructuras, la densidad no solo contribuye a la resistencia estructural, sino que también mejora la durabilidad frente a la acción de los ciclos de congelación y descongelación que pueden causar la formación de grietas. (De Barros, 2015)

A pesar de las ventajas que proporciona la alta densidad en términos de resistencia y durabilidad, también presenta algunos desafíos. Uno de los principales inconvenientes de los materiales densos es su peso elevado, lo que puede aumentar los costos de transporte y manipulación durante el proceso de construcción. Además, la aplicación de materiales muy densos puede requerir técnicas de instalación más especializadas y costosas. Si bien la densidad contribuye a la resistencia a la erosión y al desgaste, no garantiza por sí sola la impermeabilidad del material. Por ejemplo, algunos tipos de piedra natural, aunque densos, pueden presentar microfisuras que permitan la infiltración de agua. En estos casos, es necesario combinar la densidad con otras propiedades, como la adición de recubrimientos impermeables o la aplicación de aditivos selladores en el caso del concreto.

La densidad es una propiedad física clave en los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas. Un material denso es más resistente a las fuerzas hidráulicas, la erosión y el desgaste, lo que asegura una mayor durabilidad y una reducción en los costos de mantenimiento. Sin embargo, la densidad debe considerarse en conjunto con otras propiedades, como la impermeabilidad y la resistencia química, para garantizar un rendimiento óptimo en el entorno desafiante de las obras hidráulicas. La correcta selección y aplicación de materiales de alta densidad puede prolongar significativamente la vida útil de las infraestructuras hidráulicas y garantizar su funcionamiento seguro y eficiente a largo plazo.



#### 4.4.2.3 Porosidad y Absorción de Agua

La porosidad y la absorción de agua son propiedades físicas fundamentales que afectan el rendimiento de los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas. Estas propiedades determinan la capacidad del material para interactuar con el agua, lo que puede influir en su durabilidad, resistencia y aptitud para su uso en entornos donde el contacto con el agua es constante.

La porosidad de un material se refiere al porcentaje del volumen total que está ocupado por vacíos o poros. Estos poros pueden ser interconectados, lo que permite la circulación de agua o aire, o aislados, lo que impide el movimiento de fluidos. La porosidad puede tener un impacto directo en la absorción de agua y en la durabilidad del material cuando se utiliza en obras hidráulicas, como canales, presas, diques o revestimientos de túneles. La porosidad puede clasificarse en abierta o cerrada. La porosidad abierta es aquella en la que los poros están interconectados, permitiendo que el agua se infiltre a través del material. Por otro lado, la porosidad cerrada no permite la permeabilidad, ya que los poros están aislados unos de otros. Los materiales con porosidad abierta, como algunas rocas sedimentarias o suelos arcillosos, pueden ser problemáticos en obras hidráulicas debido a su capacidad para absorber grandes cantidades de agua. Un material con alta porosidad tiende a ser más susceptible a los ciclos de congelación y descongelación, lo que puede generar fisuras y grietas. Durante la congelación, el agua contenida en los poros se expande, ejerciendo presión sobre la estructura interna del material. Este fenómeno es particularmente dañino en climas fríos, donde los ciclos de congelación-descongelación son frecuentes. Por ejemplo, piedras como la caliza y ciertos tipos de granito, aunque resistentes en términos generales, pueden tener porosidad significativa que los hace vulnerables a este tipo de daño si no se tratan adecuadamente. (Vélez, 2010)

En algunos casos, la porosidad controlada puede ser ventajosa, como en los geotextiles que permiten el drenaje sin perder su capacidad de soporte. Sin embargo, en revestimientos de presas, embalses o canales, una alta porosidad es indeseable, ya que puede conducir a problemas



de filtración y erosión interna de la estructura. Por ello, en estos contextos se busca minimizar la porosidad o aplicar tratamientos adicionales, como selladores o impermeabilizantes. La absorción de agua es la capacidad de un material para retener agua dentro de su estructura. Esta propiedad está directamente relacionada con la porosidad, ya que los materiales con mayor porosidad abierta tienden a absorber más agua. En aplicaciones hidráulicas, una alta absorción de agua puede comprometer tanto la resistencia mecánica del material como su capacidad para resistir otros procesos de degradación, como la erosión y el ataque químico. La absorción de agua se mide generalmente como el porcentaje del peso de agua que un material puede absorber en relación con su peso seco. Materiales como el concreto y la piedra natural pueden mostrar una variabilidad significativa en su capacidad de absorción de agua dependiendo de su composición, proceso de fabricación y estado de conservación. Un material que absorbe mucha agua tiende a tener una menor resistencia a largo plazo. El agua puede actuar como un agente de desgaste, promoviendo la corrosión en el caso de materiales compuestos por metales o acero, y reduciendo la cohesión interna en materiales como los ladrillos o ciertos tipos de piedra. En ambientes salinos, el agua absorbida puede transportar sales que, al cristalizar, generan presiones internas capaces de deteriorar el material a lo largo del tiempo. (Del Carmen, 2014)

Para materiales que tienen una alta capacidad de absorción, como algunos ladrillos o ciertos tipos de concreto, es común el uso de aditivos impermeabilizantes o recubrimientos protectores para reducir su absorción de agua. En el caso del concreto, por ejemplo, la inclusión de aditivos hidrofóbicos o la aplicación de recubrimientos con membranas o geotextiles puede mejorar significativamente su capacidad para resistir la penetración de agua. Los materiales con baja capacidad de absorción, como las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y algunos tipos de compuestos poliméricos, son ideales para aplicaciones donde la impermeabilidad es una prioridad. Estos materiales se utilizan en la construcción de revestimientos en estanques y canales, ya que pueden crear barreras casi impenetrables contra el paso de agua, garantizando la integridad de la estructura hidráulica. La interacción entre la



porosidad y la absorción de agua afecta profundamente el comportamiento de los materiales de revestimiento en ambientes hidráulicos. Materiales con alta porosidad y absorción de agua tienden a deteriorarse más rápido bajo condiciones de contacto prolongado con el agua, especialmente si están sometidos a fluctuaciones de temperatura o ataques químicos. Por el contrario, materiales con baja porosidad y absorción de agua tienen una mayor resistencia a los fenómenos de erosión, desgaste y degradación química. Además, en aplicaciones específicas como los canales o presas, los ingenieros suelen combinar materiales con diferentes grados de porosidad y absorción de agua para obtener los mejores resultados. Por ejemplo, un núcleo impermeable de arcilla compactada puede estar rodeado por capas de concreto denso para asegurar tanto la impermeabilidad como la resistencia mecánica. (Gil, 2020)

En la mayoría de los casos, los materiales que presentan una alta porosidad y absorción de agua se someten a diversos tratamientos para mejorar su rendimiento en obras hidráulicas. Estos incluyen:

- Los selladores superficiales se utilizan comúnmente en materiales como el concreto y las piedras naturales para bloquear los poros abiertos y reducir la penetración de agua.
- En materiales compuestos como el concreto, se pueden incluir aditivos hidrofóbicos que mejoran su resistencia al agua sin comprometer sus propiedades mecánicas.
- Los materiales compuestos, como el concreto reforzado con fibras o los geotextiles, combinan diferentes tipos de materiales para minimizar la porosidad y mejorar la capacidad del revestimiento para resistir el paso del agua.

#### 4.4.2.4 Coeficiente de Expansión Térmica

El coeficiente de expansión térmica es una propiedad física crítica en el comportamiento de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas, ya que describe el grado en que un



material se expande o contrae cuando se somete a variaciones de temperatura. Este coeficiente, que se expresa en unidades de longitud por grado de temperatura (generalmente en  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ), define cuánto cambia el tamaño de un material cuando hay un cambio de temperatura de un grado. La importancia de esta propiedad radica en su impacto sobre la estabilidad estructural y la impermeabilidad de los materiales, sobre todo en regiones que experimentan variaciones térmicas significativas, como zonas montañosas o áreas sometidas a climas extremos. (Amorós, 1992)

En obras hidráulicas, como presas, canales, y embalses, los materiales de revestimiento están en contacto constante con el agua, que puede tener diferentes temperaturas dependiendo de la estación del año o la profundidad de la estructura. Si el material se expande o contrae de manera excesiva debido a cambios de temperatura, pueden producirse fisuras o grietas. Estas fallas comprometen la integridad estructural del revestimiento y pueden provocar la infiltración de agua, lo que resultaría en una pérdida de eficiencia y la posible degradación de la infraestructura. En áreas donde se experimentan fluctuaciones importantes de temperatura, como en climas fríos con estaciones de congelación y descongelación, o en regiones desérticas con días cálidos y noches frías, los materiales están sometidos a ciclos de expansión y contracción constantes. Estos ciclos térmicos pueden generar tensiones internas que, si no se controlan, llevan al agrietamiento y, eventualmente, a fallas estructurales. El concreto es uno de los materiales más utilizados en obras hidráulicas, pero también es muy susceptible a los cambios de temperatura debido a su coeficiente de expansión térmica relativamente alto. En climas cálidos, por ejemplo, el concreto se expandirá, mientras que en climas fríos se contraerá. Este comportamiento puede generar tensiones internas que deben ser mitigadas mediante juntas de expansión o la adición de aditivos que reduzcan la susceptibilidad a la dilatación térmica. Existe impactos del coeficiente de expansión térmica en materiales: (Borrell, 2011)

El concreto tiene un coeficiente de expansión térmica que varía típicamente entre 9 y 12  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ . Aunque es relativamente bajo en comparación con otros materiales, cuando se trata de estructuras de gran escala como canales o presas, esta expansión o contracción puede generar



presiones internas significativas. La durabilidad del concreto en estructuras hidráulicas puede verse comprometida si no se toman las medidas necesarias para acomodar estos cambios. Para controlar este efecto, se emplean juntas de expansión o mezclas especiales de concreto con aditivos que reducen las tensiones térmicas. Aunque el acero no es un material de revestimiento primario, su uso como refuerzo en estructuras de concreto o en componentes metálicos asociados es fundamental. El coeficiente de expansión térmica del acero es mayor que el del concreto, lo que puede generar problemas cuando ambos materiales están en contacto directo, debido a que se expanden y contraen a ritmos diferentes. Este desajuste puede resultar en la formación de fisuras o grietas en el concreto, sobre todo si no se han tomado medidas preventivas durante el diseño. Los polímeros como las geomembranas o los recubrimientos epóxicos tienen un coeficiente de expansión térmica significativamente mayor que el concreto o el acero, lo que los hace susceptibles a deformaciones bajo cambios de temperatura. Sin embargo, su alta flexibilidad les permite acomodarse a estas deformaciones sin generar fisuras. En obras hidráulicas donde se utilizan geomembranas como barrera impermeable, se deben considerar estos coeficientes para evitar que se separen del material base o se dañen bajo condiciones extremas de temperatura. Los materiales como la piedra y los ladrillos tienden a tener un coeficiente de expansión térmica más bajo en comparación con los materiales poliméricos, pero pueden sufrir micro fisuras si se exponen a cambios extremos de temperatura. La expansión térmica en estos materiales puede provocar la separación de las juntas de mortero en las estructuras de albañilería, afectando la durabilidad y la impermeabilidad de las obras hidráulicas. (Aparicio, 2011)

Una de las soluciones más comunes para mitigar los efectos del coeficiente de expansión térmica es el uso de juntas de expansión. Estas juntas permiten que los materiales se expandan y contraigan sin generar tensiones que puedan provocar grietas. Las juntas de expansión se colocan estratégicamente en estructuras de concreto, como canales o diques, permitiendo que las secciones individuales del concreto se muevan libremente. En materiales como el concreto, se pueden utilizar aditivos específicos que modifiquen su comportamiento térmico. Aditivos como



los superplastificantes y los agentes reductores de agua permiten obtener mezclas de concreto con menor tendencia a la expansión térmica. Además, se pueden incorporar fibras o refuerzos internos que absorben las tensiones térmicas sin comprometer la estructura. En obras donde se prevé una alta variación de temperatura, es fundamental elegir materiales con coeficientes de expansión térmica bajos o que posean una alta resistencia a la fisuración. Los polímeros modificados, por ejemplo, pueden ser una solución adecuada debido a su capacidad para adaptarse a los cambios de temperatura sin desarrollar fisuras. (Aguilera, 2008)

El coeficiente de expansión térmica es una propiedad crucial a la hora de diseñar y seleccionar los materiales de revestimiento para obras hidráulicas. Ignorar esta propiedad puede llevar a fallas estructurales significativas, como fisuras y grietas, que comprometen la integridad de la estructura y su capacidad para retener el agua de manera eficiente. A través de medidas como la incorporación de juntas de expansión, el uso de aditivos y la selección cuidadosa de los materiales, es posible mitigar los efectos negativos de la expansión y contracción térmica, garantizando la durabilidad y estabilidad de las obras hidráulicas en el largo plazo.

#### 4.4.2.5 Resistencia a la Intemperie

La resistencia a la intemperie es una propiedad física fundamental en los materiales utilizados para el revestimiento en obras hidráulicas, ya que estos están constantemente expuestos a diversas condiciones ambientales que pueden deteriorar su integridad con el tiempo. Los elementos naturales, como la radiación solar, los cambios de temperatura, la humedad, el viento, el hielo, y en algunas regiones, la nieve, tienen efectos erosivos sobre los materiales, que deben ser cuidadosamente seleccionados para soportar estas condiciones sin comprometer la estabilidad de la estructura. La capacidad de un material para resistir estos factores de manera duradera depende tanto de su composición química como de sus propiedades físicas. (Rizzolo, 2003)

Hay factores clave en la resistencia a la intemperie y son:



- La exposición continua a los rayos ultravioleta (UV) del sol puede causar el envejecimiento prematuro de los materiales, especialmente los sintéticos o poliméricos. Los polímeros, como las geomembranas, pueden volverse quebradizos con el tiempo debido a la degradación inducida por los UV, a menos que se les apliquen aditivos estabilizadores. El calor, especialmente en regiones áridas, también genera ciclos de expansión y contracción en materiales como el concreto, lo que puede ocasionar micro fisuras si no se han implementado las medidas de control térmico necesarias. Los recubrimientos especiales y el uso de pigmentos protectores pueden extender la vida útil de estos materiales al reducir el impacto directo de la radiación solar.
- En zonas con altos niveles de humedad o lluvias frecuentes, los materiales están expuestos a la acción del agua, lo que incrementa su susceptibilidad a la corrosión o a la erosión hídrica. Materiales como el concreto pueden verse afectados si la lluvia contiene agentes contaminantes o ácidos, un fenómeno conocido como lluvia ácida, que puede acelerar el proceso de degradación. Para mitigar estos efectos, se pueden emplear aditivos hidrofóbicos o recubrimientos impermeabilizantes en las superficies expuestas, que actúan como barreras protectoras. Además, los materiales porosos, como algunas piedras naturales, deben ser tratados con selladores para evitar la absorción de agua y reducir el riesgo de fisuras causadas por la acción del agua y los ciclos de congelación.
- En climas fríos, la resistencia a los ciclos de congelación y descongelación es esencial. Cuando el agua se infiltra en los poros de un material y se congela, el aumento de volumen asociado con el hielo puede generar una presión interna que ocasiona la formación de grietas. Esto es común en materiales con alta porosidad, como algunas piedras calizas o el concreto sin tratamiento adecuado. Para contrarrestar estos efectos, se utilizan aditivos anticongelantes o mezclas de concreto con baja absorción de agua, diseñadas específicamente para reducir el



impacto de este fenómeno. También se pueden incorporar materiales que mejoren la elasticidad del concreto, permitiéndole absorber las tensiones sin fracturarse.

- En zonas expuestas a fuertes vientos, la abrasión es otro factor importante. El viento, cargado de partículas de arena o polvo, puede desgastar las superficies expuestas de los materiales de revestimiento. Este fenómeno es particularmente crítico en obras ubicadas en regiones costeras o desérticas, donde la acción abrasiva del viento y las partículas salinas acelera el desgaste de las estructuras. Materiales como el basalto o el granito son especialmente útiles en estos contextos debido a su alta resistencia a la abrasión y durabilidad. Además, se puede aplicar un tratamiento superficial o utilizar revestimientos con recubrimientos protectores que mejoren la resistencia a la abrasión.
- Las obras hidráulicas situadas en entornos marítimos enfrentan desafíos adicionales debido a la presencia de sal en el agua y en el aire. La salinidad acelera la corrosión de los materiales, especialmente aquellos que contienen componentes metálicos, como los refuerzos de acero en el concreto. Esta acción corrosiva puede deteriorar tanto la superficie del revestimiento como las partes internas de la estructura, afectando su durabilidad. Para evitar la corrosión, es común emplear aditivos anticorrosivos en las mezclas de concreto o usar materiales como el acero inoxidable o recubrimientos a base de epóxicos, que protegen contra la acción de la sal. Además, en áreas donde el agua es muy salina, se suelen utilizar geomembranas o revestimientos poliméricos que ofrecen una barrera eficaz contra la infiltración de agua salina. (Lázaro, 2021)

Hay materiales con alta resistencia a la intemperie y son los más usados:

- Materiales como el granito y el basalto son reconocidos por su alta resistencia a los efectos de la intemperie. Estos materiales tienen una baja porosidad y son capaces de resistir tanto la abrasión como los ciclos de congelación y



descongelación. Su estructura densa los convierte en excelentes opciones para revestimientos en áreas expuestas a condiciones climáticas extremas.

- El concreto, si bien es susceptible a ciertos factores climáticos, puede ser tratado con una variedad de aditivos y recubrimientos que mejoran su resistencia a la intemperie. Mezclas con agentes impermeabilizantes, aditivos anticongelantes, y fibras de refuerzo son solo algunas de las soluciones para aumentar su durabilidad bajo condiciones ambientales severas.
- Estos materiales ofrecen una excelente resistencia a la intemperie debido a su capacidad para adaptarse a la expansión y contracción sin sufrir daños estructurales. Además, son altamente resistentes a la corrosión, lo que los hace ideales para su uso en áreas costeras. (Guo, 2009)

#### 4.4.2.6 Conductividad Térmica

La conductividad térmica es una propiedad física fundamental que describe la capacidad de un material para transferir calor a través de su estructura. En el contexto de las obras hidráulicas, donde los materiales de revestimiento están expuestos a fluctuaciones de temperatura causadas por el ambiente, la conductividad térmica influye significativamente en la estabilidad y el comportamiento a largo plazo de estos materiales. (Lira, 2008)

En las infraestructuras hidráulicas, tales como canales, presas y túneles, la exposición constante al agua y al entorno circundante implica que los materiales de revestimiento deben manejar adecuadamente las variaciones térmicas. Un cambio brusco de temperatura puede generar tensiones internas en los materiales, lo que puede llevar a su debilitamiento o agrietamiento, afectando su capacidad para mantener la integridad estructural. Por ejemplo, en climas extremos, las variaciones entre el calor diurno y el frío nocturno pueden ser particularmente críticas. Los materiales con alta conductividad térmica, como los metales, disipan rápidamente el calor, lo que puede ser beneficioso en algunos casos, ya que evita la acumulación de calor en la superficie del material. Sin embargo, una conductividad térmica excesivamente alta



en ciertos materiales puede resultar en tensiones térmicas cuando diferentes partes de una estructura se expanden y contraen a diferentes velocidades. Esto puede generar problemas en situaciones donde los ciclos de expansión y contracción se repiten de forma constante, como en regiones de clima fluctuante. Por ello, en muchas obras hidráulicas, se buscan materiales con una conductividad térmica moderada que permitan un equilibrio térmico sin cambios bruscos. (Huenges, 1995) Hay materiales de alta y baja conductividad térmica como lo son:

- Los metales, como el acero, son conocidos por su alta conductividad térmica, lo que les permite disipar el calor de manera rápida. Esta propiedad es útil en estructuras que deben resistir fluctuaciones térmicas sin sobrecalentarse en ambientes cálidos. Sin embargo, en obras hidráulicas, los metales suelen estar combinados con otros materiales o recubiertos para evitar que las rápidas expansiones y contracciones térmicas generen fisuras o fallas en el sistema estructural.
- El concreto es uno de los materiales más utilizados en obras hidráulicas por su conductividad térmica moderada. Aunque no es tan eficiente como los metales en la transferencia de calor, el concreto ofrece un equilibrio aceptable entre disipación de calor y resistencia a las tensiones térmicas. Sin embargo, la conductividad térmica del concreto puede verse afectada por su composición y mezcla interna. Un concreto con alto contenido de agua puede ser más propenso a fracturarse debido a los cambios de temperatura, mientras que mezclas con aditivos específicos pueden mejorar su resistencia térmica.
- Las piedras como el granito o el basalto también presentan una buena capacidad para resistir las tensiones térmicas, aunque su conductividad térmica es generalmente baja. Esto las hace adecuadas para obras hidráulicas en zonas con variaciones térmicas moderadas, ya que son menos propensas a fracturarse o desgastarse con el tiempo. Además, su baja porosidad contribuye a limitar la



acumulación de agua, que podría congelarse y expandirse en climas fríos, generando más tensiones térmicas.

- Los polímeros, como las geomembranas o recubrimientos de polietileno, tienen una conductividad térmica relativamente baja, lo que los convierte en excelentes aislantes térmicos. Sin embargo, en algunas situaciones, esto puede ser una desventaja, ya que el calor acumulado en la superficie puede no disiparse eficientemente, afectando su durabilidad a largo plazo. Es por ello que, en muchos casos, los materiales sintéticos se combinan con otros sistemas para regular mejor las tensiones térmicas que puedan generarse. (Fernández, 2007)

Un factor importante en la selección de materiales de revestimiento para obras hidráulicas es el control de las tensiones térmicas que se generan debido a la expansión y contracción de los materiales frente a cambios de temperatura. El coeficiente de expansión térmica, que está relacionado con la conductividad térmica, juega un papel crucial en este aspecto. Materiales como el concreto, aunque tienen una conductividad térmica moderada, pueden requerir el uso de juntas de dilatación o aditivos que mitiguen los efectos de estas tensiones, evitando la formación de grietas o fisuras que comprometan la integridad estructural y la impermeabilidad de la obra. En regiones donde las temperaturas fluctúan drásticamente, los aditivos especiales para concreto, como las fibras de refuerzo o materiales elastoméricos, ayudan a absorber parte de las tensiones sin dañar la estructura. También es común que en estos casos se utilicen mezclas de concreto con baja absorción de agua, para reducir el riesgo de fracturas relacionadas con la congelación y descongelación del agua infiltrada. En climas cálidos, los materiales con alta conductividad térmica pueden ser beneficiosos, ya que permiten que el calor acumulado

se disipe rápidamente, evitando que la estructura se sobrecaliente. Sin embargo, en climas fríos, donde el agua puede infiltrarse en los poros del material y luego congelarse, se prefieren materiales con menor conductividad térmica que mantengan una estabilidad térmica adecuada para minimizar el riesgo de fisuras debido a la expansión del agua congelada. (Daza, 2019)



La conductividad térmica de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas es un factor clave que debe tenerse en cuenta al diseñar estructuras sometidas a fluctuaciones térmicas. El equilibrio entre la disipación eficiente del calor y la minimización de las tensiones térmicas internas es esencial para garantizar la durabilidad, seguridad, y eficiencia de la infraestructura a largo plazo.

#### 4.4.2.7 Textura Superficial

La textura superficial es un aspecto esencial en los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas, ya que influye directamente en el comportamiento del agua y en la interacción de la infraestructura con el entorno. Los materiales con superficies rugosas, como ciertos tipos de piedra o concreto, son particularmente útiles en contextos donde se busca reducir la velocidad del flujo de agua. Esto es crucial en canales de desagüe, donde un flujo más lento ayuda a mitigar la erosión y controlar la sedimentación. Las superficies rugosas crean fricción con el agua, lo que disipa la energía y limita la capacidad del agua para causar erosión en las zonas circundantes. Por esta razón, los revestimientos de piedra o concreto rugoso son comunes en canales de baja velocidad y en áreas donde se requiere reducir el impacto de la corriente. Por otro lado, en proyectos donde el flujo de agua necesita ser eficiente y rápido, como en ciertos tipos de canales o sistemas de transporte de agua, los materiales de superficie lisa son preferidos. Materiales como el asfalto modificado o ciertos polímeros, al tener una baja rugosidad, permiten que el agua fluya de manera más eficiente y sin interrupciones. Esto es particularmente beneficioso en situaciones donde la acumulación de sedimentos debe ser evitada y donde la capacidad de transporte del agua es una prioridad. Un ejemplo claro de esto son los canales de irrigación o los sistemas de drenaje en áreas urbanas, donde la acumulación de sedimentos o una disminución en la velocidad del agua podría comprometer la eficiencia del sistema. Además de influir en el comportamiento del flujo, la textura superficial de los materiales también afecta su durabilidad y resistencia al desgaste. Las superficies rugosas tienden a tener más área de exposición a agentes erosivos, lo que puede acelerar el desgaste si no se seleccionan



adecuadamente en función del tipo de agua o condiciones ambientales. A su vez, una superficie lisa puede ser más vulnerable a ciertos tipos de desgaste, como la abrasión por partículas de sedimentos arrastradas por el flujo de agua, pero resiste mejor en entornos donde la erosión química es una amenaza. (Buffington, 1999)

La elección de la textura superficial adecuada para un material de revestimiento depende del contexto específico de la obra hidráulica, los objetivos de control del flujo, la mitigación de la erosión y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el material. La adaptación a estas variables es clave para garantizar la longevidad y eficiencia de las infraestructuras hidráulicas. (Pawlus, 2021)

#### 4.4.2.8 Color y Reflejo de Luz

El color y reflejo de luz de los materiales de revestimiento pueden tener un impacto significativo en su rendimiento, especialmente en obras hidráulicas expuestas a variaciones térmicas extremas. Los materiales de color claro, debido a su capacidad para reflejar más luz solar, suelen mantenerse más frescos al estar expuestos a la radiación solar directa. Esto es particularmente beneficioso en climas cálidos, donde las altas temperaturas superficiales pueden afectar tanto la integridad del material como las funciones estructurales del revestimiento. La reducción de la absorción de calor en estos materiales ayuda a minimizar la expansión térmica y las tensiones internas que podrían causar grietas o fallos prematuros. Por ejemplo, los revestimientos de concreto de color claro o las geomembranas con acabados reflectantes se usan en zonas áridas o cálidas para mitigar los efectos del calor extremo.

Por otro lado, los materiales de colores oscuros absorben más calor debido a su menor capacidad de reflejar la luz. En ciertas aplicaciones, esto puede resultar perjudicial, ya que un exceso de calor puede generar problemas de expansión térmica, deterioro acelerado y mayor desgaste en materiales como el asfalto o el concreto. Sin embargo, en climas fríos o templados, los materiales oscuros pueden ser ventajosos, ya que ayudan a acelerar la evaporación de agua



superficial y a evitar la acumulación de hielo en estructuras expuestas. Esto resulta útil en canales y presas ubicadas en regiones de climas fríos, donde las bajas temperaturas y la congelación representan un desafío. Además del control térmico, el color y el reflejo de luz también pueden influir en la visibilidad y el mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas. Los revestimientos de colores claros tienden a hacer más visibles las manchas o el desgaste superficial, lo que puede ser útil para identificar áreas donde el material se esté deteriorando o necesite reparaciones. En contraste, los materiales de colores oscuros pueden enmascarar algunos signos tempranos de deterioro, lo que podría retrasar el mantenimiento necesario. La elección del color y las propiedades de reflexión de la luz de los materiales de revestimiento deben estar en función de las condiciones climáticas locales, los requisitos de control térmico, y la durabilidad deseada del material. El color y el reflejo no solo afectan la estética, sino también la eficiencia y vida útil de los materiales, siendo un factor a considerar en el diseño de obras hidráulicas expuestas a ambientes hostiles o de difícil mantenimiento. (del Valle, 2022)

#### 4.4.2.9 Resistencia a Productos Químicos

En La resistencia a productos químicos es una propiedad crucial para los materiales de revestimiento en obras hidráulicas, dado que están expuestos continuamente a productos químicos presentes en el agua o en el entorno circundante. Esta exposición puede incluir tanto productos químicos naturales, como los sulfatos y cloruros que se encuentran en aguas subterráneas y costeras, como productos químicos industriales o contaminantes, que se encuentran en aguas de tratamiento o efluentes. La capacidad de un material para resistir estos ataques químicos sin sufrir deterioro afecta directamente su durabilidad y vida útil en las estructuras hidráulicas. (Wegmann, 1997)

Un ejemplo claro es el concreto, que es ampliamente utilizado en obras hidráulicas debido a su resistencia mecánica. Sin embargo, en su estado no tratado, el concreto puede ser susceptible a la degradación química cuando entra en contacto con sulfatos o cloruros. Los sulfatos, por ejemplo, pueden reaccionar con los componentes del cemento, produciendo expansiones internas



que causan fisuras y grietas. Esto es particularmente problemático en áreas donde el agua contiene altas concentraciones de sulfatos, como las zonas costeras o las regiones con aguas subterráneas contaminadas. Para mitigar estos efectos, se suelen emplear aditivos o mezclas especiales de concreto, como el cemento resistente a los sulfatos, que ayudan a prevenir las reacciones químicas nocivas. Otro problema común es la carbonatación del concreto, un proceso en el que el dióxido de carbono presente en el aire reacciona con el hidróxido de calcio en la superficie del concreto, lo que puede reducir el pH del material y hacer que se vuelva más vulnerable a la corrosión, especialmente cuando contiene refuerzos de acero. Esto es especialmente peligroso en ambientes con una alta concentración de dióxido de carbono o en estructuras expuestas a una humedad constante. Los recubrimientos protectores y selladores, como las resinas epóxicas, pueden usarse para aumentar la resistencia química del concreto y evitar su deterioro. (Bolelli, 2005)

En cuanto a los recubrimientos de polímeros y materiales sintéticos, estos tienden a ser más resistentes a los ataques químicos que el concreto. Los compuestos como los epóxicos son altamente efectivos en ambientes agresivos donde la exposición a productos químicos es constante. Estos recubrimientos suelen aplicarse en estructuras como plantas de tratamiento de aguas residuales, donde los materiales están en contacto con ácidos, álcalis y otros compuestos corrosivos. Los polímeros, como el PVC y el polietileno de alta densidad (HDPE), también tienen una excelente resistencia química, lo que los hace ideales para su uso en geomembranas y tubos de conducción, donde la exposición a sustancias agresivas es inevitable. En obras donde la salinidad del agua es alta, como en estructuras cercanas al mar, es común encontrar materiales que requieren un tratamiento adicional para resistir el ataque de los cloruros. Los cloruros pueden penetrar en el concreto y causar la corrosión de los refuerzos de acero, comprometiendo la integridad estructural de la obra. Para contrarrestar este problema, además de los recubrimientos protectores, se emplean barreras físicas, como geotextiles o geomembranas, que impiden que el agua salina entre en contacto directo con las estructuras. (Aliofkhazraei, 2014)



La resistencia a productos químicos es una propiedad indispensable en el diseño de materiales de revestimiento para obras hidráulicas. El uso de materiales avanzados, como los polímeros, junto con tratamientos protectores en el concreto, es clave para asegurar la durabilidad de las infraestructuras. Esta capacidad de resistir sustancias agresivas garantiza que las estructuras puedan operar de manera eficiente, minimizando la necesidad de mantenimiento y reparaciones costosas a largo plazo.

#### 4.4.2.10 Capacidad de Refuerzo y Compatibilidad con Otros Materiales

La capacidad de refuerzo y compatibilidad con otros materiales es una propiedad crucial en la ingeniería de obras hidráulicas. En estas estructuras, los materiales de revestimiento no funcionan de manera aislada; por el contrario, interactúan y se complementan con otros elementos constructivos para maximizar la eficiencia, la durabilidad y la resistencia de la obra. La sinergia entre diferentes materiales estructurales garantiza que se mantengan las propiedades óptimas en términos de resistencia mecánica, impermeabilidad, durabilidad y estabilidad. Un ejemplo claro de esta integración es el concreto reforzado con acero. El concreto, por sí mismo, es un material con excelente resistencia a la compresión, pero relativamente débil en cuanto a resistencia a la tracción. Para superar esta debilidad, se introducen barras de acero (refuerzo), lo que da lugar al concreto reforzado. El acero, con su alta resistencia a la tracción, complementa las propiedades del concreto, resultando en un material estructural más robusto y capaz de soportar tanto cargas de compresión como de tracción, lo que es fundamental en estructuras como presas, canales y diques que están sometidas a grandes presiones y fuerzas generadas por el agua. (Peña, 2012)

Además del acero, en los últimos años se ha comenzado a utilizar fibras sintéticas en lugar de acero como refuerzo en ciertos tipos de concreto, especialmente cuando se busca reducir el peso de la estructura o aumentar la resistencia a la fatiga. Las fibras de materiales como el polipropileno o el vidrio se mezclan con el concreto durante su fabricación y mejoran su capacidad para resistir la fisuración y la deformación bajo cargas repetitivas. Estas fibras también



pueden aumentar la durabilidad del concreto al reducir la permeabilidad, lo que minimiza la entrada de agua y, por ende, la posibilidad de corrosión en ambientes expuestos a la humedad o productos químicos. Otro componente que desempeña un papel fundamental en la compatibilidad de los materiales es el uso de geomembranas y geotextiles. En proyectos de ingeniería hidráulica, estas membranas y telas sintéticas se combinan con otros materiales de construcción para mejorar la estabilidad del suelo y el control de la erosión. Los geotextiles actúan como barreras permeables que permiten el paso del agua, pero retienen partículas finas del suelo, lo que evita la erosión y refuerza la estabilidad de las estructuras subyacentes. Este tipo de materiales son esenciales en obras como los canales de riego, donde se necesita controlar el flujo de agua y evitar que el suelo colapse debido a la acción del agua.

La compatibilidad también juega un papel clave en la elección de materiales en estructuras mixtas que requieren comportamientos complementarios. Por ejemplo, en una obra donde se combinan revestimientos de concreto con membranas impermeables, es crucial que ambos materiales presenten coeficientes de expansión térmica compatibles para evitar tensiones internas que puedan causar grietas o fallos estructurales. Si un material se expande mucho más que el otro cuando está expuesto a variaciones de temperatura, la estructura en su conjunto puede verse afectada negativamente. Además, los materiales de revestimiento deben ser compatibles con el entorno químico al que estarán expuestos. Por ejemplo, si se utiliza concreto reforzado con acero en un ambiente con altos niveles de cloruros (como en zonas costeras o plantas de tratamiento de agua), es necesario aplicar recubrimientos especiales o utilizar aditivos en el concreto para evitar la corrosión del acero. En estos casos, se pueden combinar materiales poliméricos o recubrimientos epóxicos con el concreto para crear una barrera protectora que impida la entrada de productos químicos agresivos. (Solís, 2015)

La capacidad de refuerzo y la compatibilidad entre materiales son esenciales para garantizar la integridad estructural y la durabilidad en obras hidráulicas. La combinación adecuada de materiales permite aprovechar las fortalezas de cada uno, minimizando sus



debilidades y adaptando la estructura a las condiciones particulares de cada proyecto, desde presiones mecánicas hasta exposiciones químicas y variaciones térmicas.

#### 4.4.3 Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas son fundamentales para garantizar la resistencia y durabilidad frente a las diversas cargas y tensiones a las que están sometidos estos materiales. Las propiedades mecánicas permiten que los revestimientos resistan fuerzas como la presión del agua, la fricción, y el desgaste causado por partículas en suspensión. (López, 2019)

A continuación, se describen algunas de las principales propiedades mecánicas relevantes para los materiales utilizados en revestimientos hidráulicos:

##### 4.4.3.1 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas fundamentales en los materiales utilizados en obras hidráulicas, especialmente en aquellos sometidos a cargas significativas debido a la presión del agua, como es el caso de las presas, diques, muros de contención y estructuras sumergidas. Esta propiedad mide la capacidad de un material para soportar fuerzas de compresión, es decir, fuerzas que tienden a aplastar o comprimir el material, sin sufrir deformaciones permanentes o fracturas.

En las estructuras hidráulicas, la resistencia a la compresión es crucial, ya que estas obras están constantemente expuestas a cargas generadas por el peso del agua y el impacto del flujo. Cuando un material no tiene una alta resistencia a la compresión, puede ceder bajo la presión constante, provocando fallos estructurales que pueden comprometer la seguridad y funcionalidad de la obra. En aplicaciones como las presas o los muros de contención, donde el volumen de agua almacenado ejerce presiones enormes sobre la estructura, los materiales deben ser capaces de resistir sin fracturarse o deformarse. El concreto es el material de revestimiento más utilizado en



este tipo de aplicaciones debido a su excelente comportamiento frente a cargas de compresión. En su estado endurecido, el concreto tiene la capacidad de resistir presiones significativas, y su resistencia a la compresión puede ser ajustada mediante el diseño adecuado de la mezcla y el uso de aditivos. La resistencia a la compresión de los materiales puede ser mejorada a través de varias técnicas y aditivos. En el caso del concreto, la elección de agregados de alta calidad, el ajuste de la relación agua-cemento y la inclusión de materiales suplementarios como las cenizas volantes o el humo de sílice pueden aumentar significativamente esta resistencia. Además, los avances en la tecnología de concretos de alto desempeño (HPC, por sus siglas en inglés) han permitido desarrollar mezclas que pueden soportar presiones extremadamente altas sin mostrar signos de fatiga. Otra técnica común para mejorar la resistencia a la compresión es la adición de refuerzos. El concreto reforzado con barras de acero, conocido como concreto armado, es una solución ampliamente adoptada en obras hidráulicas, ya que el acero complementa la baja resistencia a la tracción del concreto, aumentando la capacidad del conjunto para soportar tanto esfuerzos de compresión como de tracción. En algunos casos, también se utilizan fibras sintéticas o de vidrio mezcladas con el concreto para proporcionar una resistencia adicional. (Yépez, 2014)

La resistencia a la compresión de los materiales depende de varios factores, incluyendo su composición, la calidad de los agregados y la cantidad de agua utilizada en la mezcla (en el caso del concreto). A continuación, se describen algunos de los factores más importantes que influyen en la resistencia a la compresión:

- En el concreto, la relación entre la cantidad de agua y cemento utilizado es un factor determinante en la resistencia a la compresión. Un exceso de agua puede debilitar el material, mientras que una cantidad insuficiente puede dificultar el proceso de hidratación y disminuir la calidad de la mezcla.
- El proceso de curado del concreto es esencial para alcanzar la resistencia máxima. Un curado apropiado asegura que la hidratación del cemento se lleve a cabo correctamente, lo que resulta en una mayor resistencia a la compresión.



- Los agregados utilizados en la mezcla de concreto también afectan su resistencia a la compresión. Agregados más grandes y de alta calidad pueden mejorar la resistencia general del material.
- La resistencia a la compresión del concreto aumenta con el tiempo, debido a que el proceso de hidratación continúa incluso después del curado inicial. A los 28 días de haber sido colocado, el concreto generalmente alcanza su resistencia nominal, aunque puede seguir ganando fuerza con el tiempo.

En las obras hidráulicas, donde las presiones ejercidas por grandes masas de agua son una constante, los materiales deben tener una resistencia adecuada para asegurar la durabilidad y seguridad de la estructura. Un ejemplo típico es el revestimiento de presas, donde el concreto se enfrenta a presiones significativas que varían con la profundidad del agua. En este caso, un concreto de alta resistencia es esencial para soportar la carga sin deteriorarse. En los muros de contención, además de la presión del agua, el material de revestimiento debe soportar cargas adicionales derivadas del suelo que se encuentra detrás de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto, en combinación con la resistencia del acero de refuerzo, proporciona una solución robusta y duradera. En los últimos años, han surgido nuevas soluciones tecnológicas para mejorar la resistencia a la compresión en los materiales de revestimiento. Entre ellas, destaca el desarrollo de concretos de ultra alta resistencia (UHPC, por sus siglas en inglés), que pueden soportar presiones extremadamente altas, hasta 200 MPa o más, comparado con el concreto convencional que suele tener una resistencia entre 20 y 40 MPa. Otro avance importante ha sido el uso de nanomateriales y materiales compuestos para mejorar las propiedades mecánicas de los revestimientos. Estos materiales no solo ofrecen una mayor resistencia a la compresión, sino que también mejoran otras propiedades como la durabilidad y la resistencia a los productos químicos y la abrasión. (Redondo, 2022)

La resistencia a la compresión es una propiedad clave para los materiales de revestimiento en obras hidráulicas, ya que permite que las estructuras soporten las fuerzas ejercidas por el agua



y otros factores sin sufrir deformaciones ni fallos. El uso adecuado de concretos de alta resistencia, combinado con técnicas de refuerzo y la incorporación de nuevos materiales, asegura que estas estructuras sean capaces de cumplir con las exigencias mecánicas impuestas por su entorno durante muchos años.

#### 4.4.3.2 Resistencia a la Tracción

La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica crucial en los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas, aunque, generalmente, los materiales como el concreto y las piedras naturales tienen una resistencia a la compresión significativamente mayor que su resistencia a la tracción. Esta propiedad mide la capacidad de un material para soportar fuerzas que tienden a estirarlo, alargarlo o fracturarlo cuando es sometido a esfuerzos de tracción. En otras palabras, se refiere a cómo responde un material cuando se le aplican fuerzas que intentan separarlo o desgarrarlo. En el contexto de las estructuras hidráulicas, la resistencia a la tracción es particularmente relevante en situaciones donde las fuerzas de tracción o tensionales actúan sobre los revestimientos. (Hostia, 2021)

Estas fuerzas pueden originarse por diversas causas, tales como:

##### Movimientos del suelo

En áreas propensas a la inestabilidad geotécnica o donde existe la posibilidad de asentamientos diferenciales, los movimientos del suelo pueden generar tensiones significativas sobre las estructuras hidráulicas, lo que pone a prueba la capacidad del material para resistir estas fuerzas.

##### Fluctuaciones de presión

Las variaciones en los niveles de agua y las fluctuaciones de presión, especialmente en estructuras como presas, canales o túneles, pueden someter a los materiales de revestimiento a esfuerzos de tracción y compresión alternos. Si el material no tiene suficiente resistencia a la



tracción, puede producirse la formación de grietas, comprometiendo la impermeabilidad y la integridad estructural.

### Cargas de viento y sismo

En algunas obras, como los diques o muelles en zonas costeras o sísmicas, las fuerzas externas adicionales pueden incluir la acción del viento o el movimiento sísmico. Estas cargas adicionales crean tensiones que, de no ser controladas, pueden llevar al fallo del material.

Materiales como el concreto, que son muy valorados por su alta resistencia a la compresión, tienen una resistencia a la tracción significativamente inferior. En su estado natural, el concreto puede soportar esfuerzos de compresión mucho mayores que los de tracción, lo que lo hace vulnerable a la formación de grietas bajo tensiones. Esto es especialmente crítico en obras hidráulicas donde las condiciones dinámicas del flujo de agua y las presiones irregulares pueden generar esfuerzos de tracción en ciertos puntos de la estructura. Las piedras naturales, como el granito o la caliza, presentan un comportamiento similar, con alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción. Esto limita su uso en áreas donde las fuerzas tensionales son predominantes o donde las tensiones alternantes son comunes. Para superar las limitaciones inherentes de la baja resistencia a la tracción en el concreto, se desarrolló el concepto de concreto reforzado, en el que barras de acero o fibras sintéticas se incorporan dentro del material. El acero, a diferencia del concreto, tiene una alta resistencia a la tracción, lo que le permite absorber y distribuir de manera eficiente las fuerzas tensionales que el concreto no podría soportar por sí solo. Este refuerzo ayuda a evitar que el concreto se agriete o fracture cuando se enfrenta a cargas de tracción. El concreto reforzado con fibras es otra solución que ha ganado popularidad en las últimas décadas. En lugar de utilizar solo barras de acero, se añaden fibras de acero, vidrio, carbono o polímeros dentro de la mezcla de concreto, lo que mejora la resistencia a la tracción en todas las direcciones. Estas fibras, que pueden ser cortas o largas, actúan como un refuerzo



distribuido en toda la matriz del concreto, mejorando no solo la resistencia a la tracción, sino también la durabilidad y la resistencia a la fisuración. (Feijoó, 2015)

La resistencia a la tracción de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas está influenciada por varios factores, que incluyen: Composición del material ya que la resistencia a la tracción varía según el tipo de material. Por ejemplo, los metales y ciertos polímeros tienen una resistencia a la tracción mucho mayor que el concreto o las piedras naturales. También tratamiento y refuerzos esto debido a que los materiales tratados con aditivos o reforzados con acero o fibras sintéticas muestran un comportamiento mucho mejor frente a las tensiones, lo que aumenta significativamente su capacidad de resistencia. Tamaño y forma de las estructuras ya que en estructuras más delgadas o en componentes de mayor longitud, las tensiones pueden distribuirse de manera desigual, lo que afecta la resistencia a la tracción del material. Las estructuras largas, como los canales o las tuberías, pueden necesitar refuerzos adicionales para evitar fracturas debidas a esfuerzos de tracción. (Consuegra, 2022)

La resistencia a la tracción se mide a través de ensayos específicos, como el ensayo de tracción directa o el ensayo de flexión en el caso del concreto. En estos ensayos, se aplica una carga tensional hasta que el material se rompe, y la resistencia se calcula en función de la carga máxima soportada por unidad de área. En el caso del concreto, un ensayo común es la prueba de fricción indirecta, también conocida como ensayo brasileño, donde se coloca una muestra cilíndrica de concreto en una máquina de compresión y se aplica una carga en su diámetro. Este ensayo proporciona una medida indirecta de la resistencia a la tracción. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevos materiales y métodos de refuerzo que mejoran la resistencia a la tracción de los revestimientos en obras hidráulicas. El uso de nanotecnología y materiales compuestos ha abierto nuevas posibilidades para crear materiales con mayor resistencia y durabilidad. Estos materiales no solo mejoran la resistencia a la tracción, sino que también son más ligeros y sostenibles. El desarrollo de concretos autocompactantes y concretos de ultra alto rendimiento (UHPC) ha permitido mejorar significativamente las propiedades



tensionales del concreto, reduciendo la necesidad de refuerzos adicionales y aumentando la vida útil de las estructuras. (Zwick, 2022)

La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica esencial para los materiales utilizados en obras hidráulicas, especialmente en aquellas que están sujetas a fluctuaciones de presión, movimientos del suelo y otras tensiones. Aunque materiales como el concreto tienen una resistencia a la tracción limitada, las soluciones de refuerzo, como el uso de acero y fibras, han permitido superar estas limitaciones. Las innovaciones en materiales y técnicas de refuerzo seguirán desempeñando un papel fundamental en la mejora de la durabilidad y eficiencia de las estructuras hidráulicas.

#### 4.4.3.3 Ductilidad

La ductilidad es una propiedad mecánica clave que describe la capacidad de un material para deformarse de manera significativa antes de fracturarse o romperse cuando se le aplican fuerzas externas. En términos simples, un material dúctil es capaz de estirarse o deformarse sin romperse, lo que lo hace más resistente a las tensiones mecánicas que puedan surgir en su entorno. Esta propiedad es especialmente importante en obras hidráulicas, donde las estructuras a menudo están sometidas a fuerzas variables, como el movimiento del agua, las presiones ejercidas por el suelo o los cambios de temperatura. (Tapia, 2011)

La ductilidad tiene especial relevancia en los materiales que deben soportar deformaciones significativas debido a las tensiones mecánicas impuestas por el agua y el entorno. A diferencia de los materiales frágiles, que tienden a romperse bajo cargas repentinas o tensiones, los materiales dúctiles permiten que las estructuras mantengan su integridad al absorber y redistribuir las tensiones. En estructuras hidráulicas, como presas, canales o muros de contención, los materiales dúctiles tienen una mayor capacidad para adaptarse a las deformaciones y movimientos del terreno, especialmente en áreas propensas a la actividad sísmica o a grandes fluctuaciones de presión en el agua. Además, la ductilidad es crucial para prevenir la aparición de



grietas y fracturas, lo que puede comprometer la impermeabilidad y la seguridad de las obras hidráulicas. Los metales, como el acero y ciertos tipos de aleaciones, son conocidos por su alta ductilidad. Estos materiales se utilizan comúnmente en las estructuras de refuerzo de las obras hidráulicas, como en el concreto reforzado, donde el acero proporciona la capacidad de absorber las tensiones de tracción y deformarse sin romperse. El acero es particularmente dúctil, lo que permite que las estructuras de concreto soporten fuerzas sísmicas y deformaciones inducidas por cargas de agua sin comprometer su estabilidad. Otro grupo de materiales altamente dúctiles son los polímeros y los revestimientos bituminosos, que también se emplean en obras hidráulicas, especialmente en revestimientos y selladores. Estos materiales tienen la capacidad de estirarse y adaptarse a las condiciones cambiantes sin agrietarse, lo que los convierte en una opción valiosa en proyectos donde las condiciones del terreno o del agua varían considerablemente con el tiempo. Por ejemplo, los revestimientos de asfalto modificado con polímeros son altamente dúctiles y se utilizan comúnmente en diques y canales, donde deben adaptarse a los movimientos del terreno o a las fluctuaciones térmicas. (Alegre, 2017)

La ductilidad es una propiedad especialmente importante en regiones donde las estructuras están expuestas a condiciones extremas. En zonas sísmicas, la capacidad de un material para deformarse sin romperse es esencial para garantizar que las estructuras puedan resistir los movimientos del terreno sin colapsar. Los materiales dúctiles permiten que las estructuras hidráulicas, como presas o muros de contención, se adapten a los movimientos sísmicos al absorber las fuerzas generadas por el terremoto. En condiciones de cargas variables, como aquellas encontradas en áreas con fluctuaciones estacionales de agua, la ductilidad también es crítica. Por ejemplo, los canales de riego y los embalses pueden experimentar variaciones significativas en los niveles de agua, lo que genera tensiones en las estructuras. Los materiales dúctiles permiten que estas estructuras se deformen de manera controlada sin que se formen grietas, lo que es clave para mantener su impermeabilidad y estabilidad. La ductilidad de un material se mide a través de pruebas mecánicas que evalúan su capacidad de deformarse bajo



tensiones. Un ensayo común es la prueba de tracción, en la cual se aplica una carga axial a una muestra del material y se mide su deformación hasta el punto de rotura. Los materiales dúctiles, como los metales, experimentan una deformación significativa antes de fracturarse, mientras que los materiales frágiles, como algunos tipos de piedra o concreto sin refuerzo, tienden a fracturarse con poca o ninguna deformación. En los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas, es esencial garantizar que estos ensayos se realicen bajo las condiciones específicas a las que estarán expuestos los materiales. Factores como la temperatura, la presión y la exposición al agua pueden afectar la ductilidad de los materiales, por lo que los ensayos deben adaptarse para reflejar estas condiciones. (Caballero, 2009)

Cabe resaltar que la ductilidad de un material está estrechamente relacionada con otras propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y la tenacidad. Los materiales con alta ductilidad suelen tener una buena resistencia a la tracción, ya que pueden deformarse sin fracturarse bajo cargas tensionales. Además, los materiales dúctiles también tienden a ser más tenaces, es decir, pueden absorber más energía antes de romperse. Esto es crucial en obras hidráulicas donde las cargas dinámicas, como las olas o las corrientes de agua, pueden someter a los materiales a esfuerzos continuos.

La ductilidad es una propiedad particularmente importante en aplicaciones como los revestimientos de presas y los diques costeros, donde las fuerzas del agua y del terreno pueden variar considerablemente. En estas estructuras, los materiales dúctiles permiten una mayor adaptabilidad a las tensiones, lo que ayuda a prevenir el colapso estructural y a mantener la impermeabilidad a lo largo del tiempo. En tuberías y conductos utilizados para el transporte de agua en sistemas hidráulicos, la ductilidad es igualmente esencial. Las tuberías dúctiles, como las fabricadas con polímeros reforzados o acero, son capaces de soportar la expansión y contracción causada por las fluctuaciones de temperatura y presión, lo que reduce el riesgo de roturas y fugas.



#### 4.4.3.4 Resistencia al Impacto

La resistencia al impacto es una propiedad mecánica crucial para los materiales utilizados en las obras hidráulicas, ya que define la capacidad del material para soportar golpes o choques sin fracturarse ni sufrir daños significativos. En estas estructuras, la exposición a impactos es inevitable debido al movimiento constante del agua y los objetos flotantes que pueden colisionar con la superficie de los revestimientos. Es particularmente importante en áreas donde el agua fluye a gran velocidad o donde los cuerpos sólidos, como rocas, ramas o escombros, pueden ser arrastrados y chocar repetidamente contra la estructura. En el contexto de las obras hidráulicas, la resistencia al impacto adquiere una importancia primordial, ya que los revestimientos deben estar preparados para soportar los golpes generados por partículas en suspensión, corrientes de alta velocidad y fluctuaciones en el caudal. Las compuertas de presas, los canales de desvío y las esclusas son ejemplos de estructuras expuestas a condiciones de flujo rápido y donde los impactos son comunes. (Cuitiño, 2015)

Los materiales con alta resistencia al impacto aseguran la integridad estructural frente a las cargas dinámicas generadas por el movimiento del agua y los objetos transportados. En los canales de alta velocidad, por ejemplo, las partículas sólidas presentes en el agua pueden golpear el revestimiento de manera constante, creando una situación en la que el material debe ser capaz de disipar la energía del impacto sin fracturarse. El concreto es uno de los materiales más utilizados en obras hidráulicas y puede diseñarse para ofrecer una alta resistencia al impacto. La resistencia de un concreto determinado puede ajustarse mediante el uso de aditivos, agregados especiales o refuerzos. Por ejemplo, el concreto reforzado con fibras metálicas o sintéticas puede mejorar su capacidad para resistir golpes y choques sin sufrir daños importantes. Este tipo de refuerzos distribuye las tensiones en el material y reduce la propagación de grietas, lo que aumenta la vida útil del revestimiento. Las piedras naturales, como el granito y el basalto, también son conocidas por su alta resistencia al impacto. Estas piedras, debido a su densidad y estructura interna, tienen la capacidad de absorber y disipar la energía generada por los choques.



Por esta razón, se utilizan a menudo en estructuras costeras o en áreas donde se espera una exposición frecuente a objetos flotantes, como en los rompeolas y los diques. Los revestimientos poliméricos, como los compuestos de poliuretano o los geosintéticos, también son utilizados en situaciones donde la resistencia al impacto es necesaria. Estos materiales, además de ser flexibles, tienen una excelente capacidad para absorber choques y deformarse sin fracturarse. Se emplean comúnmente en revestimientos de canales y en protecciones superficiales de presas, donde los impactos menores son frecuentes. (Yoo, 2017)

En estructuras sometidas a flujos de alta velocidad, como los canales de desvío o las conducciones forzadas, la resistencia al impacto de los materiales es especialmente crítica. En estas áreas, el agua no solo ejerce una presión constante sobre la superficie, sino que también puede arrastrar objetos sólidos, como piedras o sedimentos, que impactan repetidamente contra el revestimiento. En las compuertas de presas y otros mecanismos de control de flujo, los golpes generados por la apertura y cierre de las compuertas, junto con los objetos que colisionan con ellas, requieren materiales que no solo sean fuertes, sino también capaces de resistir impactos repetidos sin desgaste significativo. Los revestimientos de concreto armado con refuerzos de acero o fibras son soluciones comunes en estas situaciones, ya que combinan la alta resistencia a la compresión del concreto con la capacidad de absorción de impactos de los refuerzos. La prueba de impacto es una técnica estándar utilizada para medir esta propiedad en los materiales de revestimiento. Los ensayos consisten en someter al material a golpes controlados mediante dispositivos que replican las condiciones de impacto en un entorno real. La prueba de caída de peso y la prueba de péndulo son métodos comunes que se utilizan para evaluar la resistencia al impacto en diversos materiales. En estos ensayos, se mide la cantidad de energía que puede absorber el material antes de fracturarse. Materiales como el concreto reforzado o los polímeros suelen mostrar una alta resistencia al impacto al distribuir la energía de los choques a lo largo de su estructura, mientras que los materiales más frágiles, como algunos tipos de piedra o concreto sin refuerzos, pueden fracturarse con menor cantidad de energía. (Cantwell, 1991)



En condiciones extremas, como las obras hidráulicas ubicadas en zonas costeras o áreas sometidas a frecuentes tormentas y mareas altas, la resistencia al impacto es aún más crucial. En estas zonas, los rompeolas y los muelles están en constante contacto con objetos flotantes, escombros y sedimentos que impactan la estructura de manera constante. El uso de materiales con alta resistencia al impacto en estas aplicaciones garantiza que la estructura mantenga su integridad a largo plazo. Además, en regiones donde el hielo puede formarse en los cuerpos de agua, la resistencia al impacto también debe tener en cuenta los efectos del hielo en movimiento. El hielo flotante, especialmente en áreas de embalses y ríos, puede impactar las estructuras con gran fuerza durante los deshielos de primavera. Los materiales de revestimiento deben estar diseñados para soportar estos golpes sin comprometer su estabilidad.

Con el avance de la tecnología de materiales, se han desarrollado soluciones avanzadas para mejorar la resistencia al impacto de los revestimientos en obras hidráulicas. El uso de materiales compuestos, que combinan varias propiedades mecánicas y físicas, permite una mayor capacidad de resistencia a los impactos. Estos compuestos se fabrican para absorber la energía del impacto y distribuirla de manera uniforme, minimizando los daños en la superficie del material.

#### 4.4.3.5 Resistencia a la Abrasión

La resistencia a la abrasión es una propiedad mecánica crucial para los materiales de revestimiento en obras hidráulicas, ya que define la capacidad de estos materiales para resistir el desgaste ocasionado por la fricción continua y el roce de partículas sólidas, como arena, grava y otros sedimentos, transportados por el flujo de agua. Este fenómeno de desgaste es especialmente común en canales de riego, túneles hidráulicos y tuberías de alta presión, donde el flujo constante del agua arrastra partículas que pueden erosionar gradualmente la superficie del material, afectando su durabilidad y capacidad funcional a largo plazo. La resistencia a la abrasión es especialmente importante en estructuras sometidas a un flujo constante de agua cargada con sólidos en suspensión. En estas condiciones, los materiales de revestimiento deben ser capaces de soportar no solo la presión del agua, sino también el desgaste mecánico causado por la fricción



constante de las partículas. En estructuras como canales de desvío, tuberías de conducción de agua y compuertas de presas, donde la velocidad del agua puede ser alta y las partículas abrasivas se desplazan a gran velocidad, un revestimiento con baja resistencia a la abrasión se deterioraría rápidamente, poniendo en riesgo la integridad de la obra. (Gutiérrez, 2004)

Los materiales con una alta resistencia a la abrasión son preferidos en estas aplicaciones porque minimizan la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes. La pérdida de material por abrasión no solo reduce el grosor del revestimiento, sino que también puede comprometer la impermeabilidad de la estructura y, eventualmente, su estabilidad. Además, el desgaste superficial puede generar zonas de debilidad donde las tensiones mecánicas, como la presión hidráulica o los impactos, podrían provocar fracturas o grietas. Los materiales utilizados en el revestimiento de obras hidráulicas varían dependiendo de las condiciones específicas del entorno materiales como el granito, el basalto y otras piedras de alta densidad son conocidos por su durabilidad frente al desgaste por abrasión. Estas rocas tienen una estructura interna densa y uniforme que les permite resistir el roce continuo de partículas sin sufrir un desgaste significativo. Por esta razón, son frecuentemente utilizadas en revestimientos de canales, muros de contención y diques, donde el contacto constante con el flujo de agua cargado de sedimentos es una preocupación. El concreto es ampliamente utilizado en obras hidráulicas debido a su versatilidad y capacidad para resistir presiones y cargas estructurales. Sin embargo, la resistencia a la abrasión del concreto puede mejorarse mediante el uso de agregados duros, como grava de sílice o basalto triturado, que aumentan su capacidad para resistir el desgaste. Este tipo de concreto se utiliza en áreas donde el flujo de agua es especialmente abrasivo, como en los canales de alta velocidad, compuertas de presas y vertederos. Los materiales poliméricos, como el poliuretano y el polietileno de alta densidad (HDPE), ofrecen una alta resistencia a la abrasión junto con una excelente flexibilidad y resistencia a la corrosión. Estos revestimientos se utilizan a menudo en tuberías y canales de conducción de agua, donde las partículas en suspensión pueden desgastar rápidamente los materiales más frágiles. Los polímeros no solo resisten el desgaste físico, sino



que también son impermeables y, en muchos casos, resisten el ataque químico, lo que los convierte en una opción ideal para situaciones exigentes. (Pérez, 2019)

Además de seleccionar materiales con una alta resistencia inherente al desgaste, existen varios métodos para mejorar esta propiedad en los revestimientos hidráulicos. En el concreto, la inclusión de agregados de alta resistencia, como cuarzo, sílice o basalto, mejora significativamente la resistencia a la abrasión. Estos agregados forman una barrera física que reduce el desgaste en la superficie del concreto, prolongando la vida útil del revestimiento. Este enfoque es especialmente útil en canales y túneles donde el flujo de agua arrastra partículas sólidas de manera constante. Los recubrimientos de resinas epóxicas o poliuretano son comunes en estructuras donde se requiere una alta resistencia al desgaste. Estos recubrimientos forman una capa protectora sobre la superficie del material base, protegiéndolo del desgaste mecánico. Además, proporcionan impermeabilidad y resistencia a productos químicos, lo que los hace ideales para aplicaciones en ambientes agresivos. Las técnicas como el revestimiento por proyección térmica o metalizado también pueden mejorar la resistencia a la abrasión en áreas de alto desgaste. Estas técnicas aplican una capa de material resistente a la abrasión, como aleaciones de níquel o cromo, sobre la superficie del revestimiento, creando una barrera protectora contra el desgaste causado por el contacto con partículas abrasivas. Hay aplicaciones específicas como:

### Canales y Vertederos

En estas estructuras, donde el agua fluye a alta velocidad y transporta partículas de arena, grava o sedimentos, los revestimientos de concreto con agregados duros o piedras naturales como el granito son ideales para resistir la abrasión. Las superficies rugosas de algunos revestimientos también pueden ayudar a disminuir la velocidad del flujo, reduciendo el efecto del desgaste por fricción.



### Tuberías y Conducciones Forzadas

Las tuberías que transportan agua a través de sistemas hidráulicos también están expuestas a un desgaste continuo debido al contacto con partículas en suspensión. El uso de revestimientos poliméricos en el interior de las tuberías no solo mejora la resistencia a la abrasión, sino que también reduce la fricción interna, lo que permite un flujo más eficiente del agua.

### Compuertas de Presas

Las compuertas están sometidas a condiciones extremas, con flujos de agua que pueden arrastrar grandes cantidades de sedimentos y provocar un desgaste significativo en la superficie de los materiales. El concreto reforzado y los recubrimientos especiales son opciones comunes para mejorar la resistencia al desgaste en estas áreas críticas. Los materiales de revestimiento en obras hidráulicas se someten a pruebas de resistencia a la abrasión para garantizar que puedan soportar el desgaste mecánico en condiciones operativas reales. Ensayos como la prueba de abrasión de Los Ángeles o el ensayo de resistencia al desgaste Taber son métodos comunes para evaluar esta propiedad en materiales de construcción. Estos ensayos simulan las condiciones de desgaste a las que estarán expuestos los revestimientos, proporcionando información valiosa sobre su durabilidad y rendimiento a largo plazo. (Yépez, 2014)

La resistencia a la abrasión es una propiedad mecánica vital para los materiales utilizados en obras hidráulicas, especialmente en áreas donde el contacto con partículas abrasivas es constante. Los materiales como el concreto de alta densidad, las piedras naturales y los revestimientos poliméricos ofrecen una excelente resistencia al desgaste y son esenciales para garantizar la durabilidad y eficiencia de las estructuras hidráulicas a lo largo del tiempo. Las tecnologías avanzadas y el uso de agregados duros también juegan un papel clave en la mejora de esta propiedad, minimizando los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil de los revestimientos.



#### 4.4.3.6 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una propiedad mecánica esencial que describe la rigidez de un material y su capacidad para deformarse de manera elástica bajo una carga. Este valor cuantifica la relación entre el esfuerzo aplicado a un material y la deformación resultante, indicando la capacidad de un material para recuperar su forma original después de ser sometido a tensiones dentro de su límite elástico. Se expresa en unidades de presión (pascales o megapascuales, MPa) y es clave para entender cómo los materiales de revestimiento se comportan bajo las condiciones específicas de las obras hidráulicas. En el contexto de las obras hidráulicas, el módulo de elasticidad es crucial para seleccionar materiales que puedan soportar las cargas dinámicas y estáticas sin sufrir deformaciones permanentes. Dado que estas estructuras están expuestas a fuerzas importantes, como la presión del agua, los cambios de temperatura, y las fuerzas derivadas de su propio peso, el uso de materiales con el módulo de elasticidad adecuado garantiza la estabilidad y la durabilidad de las obras. Por ejemplo, en estructuras como presas y muros de contención, donde los materiales están sometidos a altas presiones hidrostáticas y a las fluctuaciones de carga, es esencial que los materiales puedan resistir deformaciones sin fracturarse o perder su capacidad estructural. En estos casos, se prefieren materiales con un alto módulo de elasticidad, como el concreto estructural, que tiene la capacidad de resistir grandes cargas sin experimentar deformaciones permanentes significativas. (Mateos, 2000)

El concreto utilizado en obras hidráulicas típicamente presenta un módulo de elasticidad elevado (aproximadamente 20-40 GPa). Esto permite que el concreto mantenga su forma bajo cargas significativas, lo que lo hace ideal para estructuras críticas como presas, muros de contención, y canales. Además, la rigidez del concreto es esencial para controlar las deformaciones que pueden afectar la integridad estructural a largo plazo. Para mejorar aún más sus propiedades elásticas, se puede emplear concreto reforzado con acero o fibras, lo que incrementa su resistencia a la tensión y su capacidad para resistir cargas variables. En



aplicaciones donde se requiere una mayor rigidez y resistencia a la tracción, el acero es un material ideal, con un módulo de elasticidad muy alto (aproximadamente 200 GPa). En obras hidráulicas, el acero se utiliza a menudo en combinación con el concreto (como en el concreto reforzado) para proporcionar una mayor resistencia tanto a la compresión como a la tensión, mejorando así la capacidad de la estructura para soportar las cargas. Materiales como el granito o el basalto, que se utilizan como revestimientos en ciertas obras hidráulicas, también poseen un módulo de elasticidad elevado, lo que los hace resistentes a las fuerzas compresivas y aptos para aplicaciones estructurales donde la rigidez es fundamental, como en rompeolas o muros de diques. (Bruno, 2014)

Al mismo tiempo, existen situaciones en las que se requieren materiales con un módulo de elasticidad más bajo, que permitan una mayor flexibilidad y adaptabilidad bajo tensiones sin romperse. Esto es común en contextos donde los movimientos del suelo o los cambios de temperatura pueden causar desplazamientos significativos. El asfalto y los recubrimientos bituminosos tienen un módulo de elasticidad relativamente bajo en comparación con el concreto o el acero. Esta propiedad los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere una mayor flexibilidad, como en revestimientos de canales o superficies pavimentadas expuestas a la intemperie. Aunque no son tan rígidos como el concreto, estos materiales son capaces de adaptarse a pequeñas deformaciones y movimientos sin sufrir fracturas, lo que los convierte en una opción adecuada para estructuras expuestas a ciclos de congelación y descongelación o ligeras deformaciones del terreno. Algunos polímeros utilizados como revestimientos o membranas en estructuras hidráulicas también tienen un módulo de elasticidad relativamente bajo, lo que les permite deformarse y adaptarse a las tensiones inducidas por los movimientos del terreno o las fluctuaciones de presión del agua. Estos materiales son valiosos en aplicaciones donde se necesita impermeabilidad y resistencia química, además de cierta capacidad para resistir deformaciones elásticas sin sufrir daños. El módulo de elasticidad de un material no es una propiedad estática, sino que puede verse influido por varios factores; A medida que la



temperatura aumenta, el módulo de elasticidad de muchos materiales disminuye, lo que significa que se vuelven más flexibles. Este fenómeno es particularmente relevante en regiones donde las estructuras hidráulicas experimentan amplias variaciones de temperatura estacionales o diurnas, como las presas en regiones montañosas o los canales en climas áridos. Para garantizar el desempeño a largo plazo, es importante que los materiales seleccionados tengan una resistencia adecuada a las fluctuaciones térmicas. En materiales porosos como ciertos tipos de piedra o concreto, la presencia de humedad puede afectar negativamente el módulo de elasticidad. El agua puede penetrar en los poros del material y, en condiciones de congelación, causar microfisuras internas que disminuyen la rigidez del material a lo largo del tiempo. En obras hidráulicas, es importante seleccionar materiales que tengan una baja absorción de agua para minimizar este efecto. Bajo cargas sostenidas a lo largo del tiempo, muchos materiales experimentan un fenómeno conocido como fluencia, en el que se deforman de manera gradual. El concreto, por ejemplo, puede mostrar un comportamiento elástico a corto plazo, pero bajo una carga constante puede experimentar deformaciones permanentes. Esto es especialmente importante en estructuras sometidas a cargas hidráulicas continuas, como las presas o los muros de contención. (Calderon, 2022)

El módulo de elasticidad es una propiedad esencial para los materiales de revestimiento en obras hidráulicas, ya que define su capacidad para soportar y resistir deformaciones bajo carga. Los materiales con un alto módulo de elasticidad, como el concreto y el acero, son esenciales en estructuras sometidas a grandes presiones y cargas, garantizando su integridad a lo largo del tiempo. Sin embargo, en aplicaciones donde se requiere flexibilidad, como en revestimientos asfálticos o polímeros, los materiales con un módulo de elasticidad más bajo pueden ser más adecuados. La selección correcta del módulo de elasticidad asegura la eficiencia estructural y la longevidad de las obras hidráulicas, especialmente en entornos complejos y cambiantes.



#### 4.4.3.7 Tenacidad

La tenacidad es una propiedad mecánica clave que mide la capacidad de un material para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. A diferencia de otras propiedades mecánicas como la dureza o la resistencia a la tracción, que se enfocan en la respuesta a fuerzas específicas, la tenacidad considera la capacidad de un material para resistir el daño bajo cargas dinámicas o fluctuantes. Esta capacidad es fundamental en entornos donde las estructuras hidráulicas están expuestas a variaciones significativas en el caudal, la presión del agua y otras fuerzas mecánicas externas.

La tenacidad se puede describir como la capacidad de un material para soportar cargas sin fracturarse, pero no se limita a la resistencia a la rotura. Es una combinación de resistencia a la tracción, ductilidad, y la capacidad de disipar energía. En el caso de estructuras hidráulicas como presas, canales y muros de contención, los revestimientos y materiales estructurales están sujetos a tensiones fluctuantes, ya sea por los cambios en el caudal del agua o los impactos de objetos sólidos en suspensión. Un material con alta tenacidad no solo resistirá estas tensiones, sino que también evitará la propagación de grietas y la aparición de fallas catastróficas. Para cuantificar la tenacidad de un material, se suele realizar un ensayo de impacto, donde se mide la energía absorbida por un material antes de romperse. Esto proporciona un valor numérico que refleja la cantidad de energía que un material puede soportar bajo condiciones extremas. Materiales con alta tenacidad son capaces de deformarse significativamente antes de llegar al punto de rotura, lo que permite a las estructuras mantener su integridad bajo cargas extremas.

En las obras hidráulicas, la tenacidad es crítica para garantizar la longevidad y seguridad de las estructuras. Estas obras suelen estar expuestas a entornos severos, donde el impacto constante del flujo del agua, la sedimentación, y los objetos flotantes pueden ejercer presiones variables y repetitivas. Si un material es frágil (baja tenacidad), es más propenso a desarrollar grietas bajo estas tensiones, lo que puede provocar la falla estructural a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en una presa o un canal, las variaciones en el caudal del agua pueden generar fuerzas



dinámicas importantes. Un material con baja tenacidad podría fracturarse bajo estas condiciones, mientras que un material más tenaz tiene la capacidad de absorber estas fluctuaciones sin comprometer la integridad de la estructura. Esto es especialmente relevante en áreas donde los caudales varían con las estaciones, o donde existen eventos climáticos extremos como tormentas o deshielos repentinos. Hay materiales tenaces en obras hidráulicas como lo son:

### Polímeros y Compuestos Epóxicos

Los revestimientos poliméricos y los compuestos epóxicos son conocidos por su alta tenacidad y su capacidad para resistir tensiones cíclicas sin fracturarse. Estos materiales tienen una capacidad inherente para disipar la energía de las cargas dinámicas, lo que los hace ideales para recubrir y proteger superficies expuestas al contacto continuo con agua y otros materiales. Son especialmente útiles en canales de desagüe, ductos de agua, y otros componentes que están en contacto constante con el flujo de agua.

### Concreto Reforzado

El concreto por sí solo no es un material particularmente tenaz, ya que tiene una baja resistencia a la tracción y es propenso a desarrollar grietas bajo tensión. Sin embargo, cuando se refuerza con acero o fibras sintéticas, su tenacidad se incrementa considerablemente. El concreto reforzado es capaz de absorber más energía y resistir el desarrollo de grietas, lo que lo convierte en una opción ideal para estructuras como presas o muros de contención, donde las cargas dinámicas y las variaciones de presión del agua pueden ser significativas.

### Metales y Aleaciones

En ciertas aplicaciones, como las compuertas de presas o los elementos estructurales sometidos a grandes tensiones dinámicas, se utilizan aleaciones metálicas de alta tenacidad. El acero, en particular, es una opción común debido a su capacidad para resistir impactos y deformaciones bajo cargas extremas. Su alta ductilidad y resistencia al impacto lo convierten en un material clave en estructuras donde se necesita una combinación de rigidez y flexibilidad.



La tenacidad de un material no es una propiedad estática; puede verse afectada por diversos factores y es que, en obras hidráulicas ubicadas en climas fríos, como las estructuras situadas en regiones montañosas o en zonas cercanas a glaciares, es fundamental que los materiales sean capaces de mantener su tenacidad incluso a bajas temperaturas. El concreto reforzado con aditivos o el uso de aleaciones metálicas especialmente diseñadas para climas fríos puede ayudar a mitigar este problema. En situaciones donde las cargas son aplicadas de manera repentina o a alta velocidad, como los impactos de objetos flotantes en un canal o los cambios abruptos en el caudal, los materiales con alta tenacidad tienen un mejor desempeño. El comportamiento dinámico del material, es decir, su respuesta a cargas rápidas o cíclicas, es clave para evitar fallas estructurales en estas condiciones. La presencia de defectos internos o micro fisuras en un material puede reducir significativamente su tenacidad. Un material que parece tenaz en condiciones ideales puede fallar rápidamente si contiene impurezas o grietas microscópicas que actúan como puntos de concentración de tensiones. En obras hidráulicas, es esencial utilizar materiales de alta calidad que minimicen estos defectos para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

Existen varias formas de mejorar la tenacidad de los materiales utilizados en las obras hidráulicas. En el caso de los metales, se pueden aplicar tratamientos térmicos para mejorar su tenacidad, lo que aumenta su capacidad de absorber energía antes de fracturarse. En materiales como el concreto, el uso de refuerzos de fibras sintéticas o acero incrementa la capacidad del material para resistir cargas dinámicas y prevenir la propagación de grietas. El uso de compuestos como los revestimientos poliméricos o los materiales epóxicos puede proporcionar una mayor resistencia a las tensiones fluctuantes y dinámicas, mejorando así la vida útil de las estructuras hidráulicas.

La tenacidad es una propiedad mecánica esencial para los materiales utilizados en las obras hidráulicas, ya que determina su capacidad para resistir cargas dinámicas y fluctuantes sin sufrir fracturas. Materiales como los polímeros, los compuestos epóxicos, el concreto reforzado y



las aleaciones metálicas juegan un papel crucial en garantizar la seguridad y longevidad de estas estructuras. La tenacidad no solo previene la propagación de grietas, sino que también asegura que los materiales puedan soportar las condiciones ambientales más severas sin comprometer la integridad estructural.

#### 4.4.3.8 Fatiga

La fatiga es una de las propiedades mecánicas más críticas cuando se trata del desempeño a largo plazo de los materiales de revestimiento en obras hidráulicas. Este concepto se refiere a la degradación progresiva de un material bajo cargas cíclicas o fluctuantes, que no necesariamente alcanzan niveles críticos de esfuerzo en cada ciclo, pero que con el tiempo pueden generar fallos estructurales. En este contexto, la fatiga no es el resultado de un solo evento de carga, sino de la acumulación de daño a lo largo de muchos ciclos, lo que eventualmente lleva a la formación de grietas y, en última instancia, a la falla del material.

La fatiga puede definirse como la degradación que experimenta un material cuando está sometido a una carga repetida o variable en el tiempo. Estos ciclos pueden tener distintas magnitudes y direcciones, pero su naturaleza repetitiva es lo que provoca la acumulación de tensiones internas en el material. Estas tensiones pueden generar micro fisuras, que eventualmente se propagan y comprometen la integridad estructural del material. En las obras hidráulicas, la fatiga es un fenómeno frecuente debido a las fluctuaciones en el nivel del agua, las variaciones en el caudal, y la acción continua de partículas en suspensión que impactan las superficies. En una estructura hidráulica, los materiales de revestimiento están sujetos a fuerzas fluctuantes provenientes de diversas fuentes:

- En presas y canales, los niveles de agua suben y bajan de manera constante, generando presiones fluctuantes en las superficies de los materiales. Aunque estos cambios de presión pueden no ser extremadamente altos en cada ciclo, la



repetición constante puede deteriorar los materiales si no tienen una buena resistencia a la fatiga.

- En zonas de desagüe, compuertas o canales de flujo, la cantidad y la velocidad del agua pueden variar de manera significativa a lo largo del tiempo. Estas variaciones ejercen cargas dinámicas sobre las superficies de revestimiento que, si no son debidamente diseñadas, pueden sufrir daños a largo plazo.
- En entornos fluviales o costeros, es común que el agua arrastre partículas sólidas como arena o grava que impactan contra las superficies de las estructuras. Estos impactos repetidos pueden inducir tensiones localizadas que, con el tiempo, contribuyen al deterioro por fatiga.
- En regiones frías, los ciclos de congelación y descongelación también generan fluctuaciones de tensiones en los materiales. El agua que penetra en los poros de los revestimientos puede congelarse, expandirse y generar micro fisuras. A medida que estos ciclos se repiten, las tensiones acumuladas pueden conducir a fallas por fatiga.

La resistencia a la fatiga es esencial en las obras hidráulicas debido a la naturaleza repetitiva y prolongada de las cargas a las que están expuestos los materiales. Un material que no posea una adecuada resistencia a la fatiga puede parecer fuerte inicialmente, pero con el tiempo, las cargas repetitivas causarán daños acumulativos que pueden derivar en fallas estructurales. Esto puede ser particularmente problemático en obras hidráulicas de gran envergadura, donde las reparaciones son complejas y costosas. Por ejemplo, en las presas y canales de gran escala, una falla estructural causada por fatiga puede llevar a problemas serios como filtraciones o incluso colapsos parciales de la estructura, lo que comprometería no solo la funcionalidad de la obra, sino también la seguridad de las zonas aledañas. En cuanto a los materiales existen tratamientos para mejorar la resistencia a la fatiga:



### Concreto Reforzado

El concreto por sí mismo es un material vulnerable a la fatiga, ya que tiene baja resistencia a la tracción y puede desarrollar micro fisuras bajo cargas repetitivas. Sin embargo, al ser reforzado con acero o fibras sintéticas, su capacidad para soportar cargas fluctuantes mejora considerablemente. El acero proporciona resistencia adicional, mientras que las fibras distribuyen las tensiones de manera más uniforme, lo que evita la propagación de grietas. Además, el concreto puede mejorarse con aditivos como mezclas puzolánicas, que incrementan su durabilidad y resistencia a ciclos repetidos de carga.

### Polímeros y Revestimientos Sintéticos

Los polímeros, como los revestimientos epóxicos o bituminosos, son conocidos por su alta resistencia a la fatiga debido a su capacidad para deformarse plásticamente bajo cargas repetitivas sin fracturarse. Estos materiales son ideales para aplicaciones donde se requiere cierta flexibilidad y capacidad de adaptación a los cambios. Los revestimientos poliméricos también tienen la ventaja de ser altamente impermeables, lo que los protege de la penetración de agua y, por lo tanto, de los daños asociados con la congelación y descongelación.

### Acero y Aleaciones

En ciertas partes de las obras hidráulicas, como las compuertas y otras estructuras sometidas a cargas dinámicas, el uso de acero y aleaciones metálicas de alta resistencia a la fatiga es crucial. El acero, especialmente cuando está bien diseñado y tratado térmicamente, puede soportar una gran cantidad de ciclos de carga sin fracturarse. Este material es particularmente útil en áreas donde las tensiones fluctuantes son extremas, como las compuertas de presas que deben resistir variaciones rápidas en la presión del agua.

### Geotextiles y Geomembranas

Estos materiales flexibles, utilizados en obras de control de erosión y filtración de agua, también presentan una buena resistencia a la fatiga debido a su capacidad para distribuir las



tensiones de manera uniforme a lo largo de su superficie. Además, al ser materiales flexibles, pueden adaptarse mejor a las fluctuaciones de carga sin fracturarse.

Diversos factores pueden influir en la resistencia a la fatiga de un material como:

#### Amplitud de la carga

Cuanto mayor sea la variación en las tensiones aplicadas en cada ciclo, mayor será el riesgo de fallos por fatiga. Por ejemplo, si una estructura está sometida a grandes cambios en el nivel del agua de forma continua, los materiales experimentarán una mayor cantidad de tensión y serán más susceptibles a la fatiga.

#### Frecuencia de los ciclos de carga

Un mayor número de ciclos de carga en un período corto de tiempo también puede aumentar el riesgo de fatiga. Las obras hidráulicas situadas en ríos o mares con caudales fluctuantes pueden ver un mayor desgaste en sus materiales debido a la naturaleza continua de las cargas.

#### Defectos internos

La presencia de micro fisuras o impurezas en un material puede actuar como concentradores de tensiones, acelerando el proceso de fatiga. La calidad de los materiales y su tratamiento es, por lo tanto, esencial para minimizar estos defectos.

La resistencia a la fatiga es una propiedad fundamental en los materiales de revestimiento utilizados en las obras hidráulicas, ya que garantiza la durabilidad y la seguridad de las estructuras bajo condiciones de carga repetitivas. Materiales como el concreto reforzado, los polímeros y el acero son ampliamente utilizados por su capacidad para soportar ciclos de carga sin sufrir daños estructurales importantes. Además, el uso de aditivos, refuerzos y tratamientos especializados puede aumentar significativamente la resistencia a la fatiga, prolongando la vida útil de las estructuras hidráulicas.



#### 4.4.3.9 Cohesión

La cohesión es una propiedad mecánica esencial que mide la capacidad interna de un material para mantenerse unido frente a las tensiones aplicadas, lo que es clave en las obras hidráulicas. Esta propiedad define cómo las partículas dentro de un material interactúan entre sí, permitiendo que resistan las fuerzas externas sin desmoronarse o perder su integridad estructural. En los revestimientos de concreto, piedra, y otros materiales utilizados en estructuras como presas, canales y diques, la cohesión es fundamental para soportar las presiones ejercidas por el agua y las cargas dinámicas, asegurando que la estructura permanezca estable a lo largo del tiempo. La cohesión en materiales está íntimamente relacionada con las fuerzas de unión interna entre las partículas que lo componen. En el caso de los materiales naturales, como el granito o el basalto, las fuerzas intermoleculares y la estructura cristalina otorgan una alta cohesión, lo que los hace muy resistentes a la fractura bajo cargas externas. En el concreto, la cohesión es el resultado de la interacción entre los agregados (grava y arena) y la pasta de cemento que actúa como un aglomerante. La cohesión es especialmente importante en el contexto de las obras hidráulicas debido a la presión constante del agua y los cambios en el caudal, que pueden someter al material a esfuerzos significativos a lo largo del tiempo.

El concreto, uno de los materiales de revestimiento más utilizados en las obras hidráulicas, depende en gran medida de su cohesión para mantener su integridad estructural. La cohesión en el concreto proviene principalmente de la calidad de la pasta de cemento y su capacidad para unir los agregados. Los agregados desempeñan un papel importante, ya que distribuyen las cargas dentro del concreto, permitiendo que resista tanto las fuerzas de compresión como las de tensión. Sin embargo, la cohesión del concreto puede variar dependiendo de varios factores, como la relación agua-cemento, la proporción de agregados y la calidad de los materiales utilizados. Cuando la cohesión interna del concreto es débil, pueden formarse fisuras y grietas, lo que compromete la durabilidad del material y aumenta el riesgo de fallos estructurales. Por ello, es



común utilizar aditivos que mejoran la cohesión, como ciertos agentes químicos y fibras sintéticas.

Para mejorar la cohesión de los materiales de revestimiento, se pueden utilizar refuerzos como fibras, aditivos químicos y agregados especiales. Estos refuerzos no solo aumentan la cohesión interna del material, sino que también ayudan a mejorar otras propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción, la compresión y la flexión. Entre los principales métodos para mejorar la cohesión se encuentran:

- La adición de fibras al concreto refuerza su cohesión interna al distribuir mejor las tensiones dentro del material. Las fibras, que pueden ser de acero, vidrio, polipropileno u otros materiales sintéticos, actúan como puentes que unen las diferentes partes del concreto, reduciendo el riesgo de formación de grietas. Estas fibras son particularmente útiles en obras hidráulicas expuestas a cargas cíclicas o cambios de presión, como presas y canales.
- Los agregados utilizados en el concreto también juegan un papel clave en la cohesión. Agregados de alta dureza y baja porosidad mejoran la cohesión del concreto al resistir la penetración de agua y otros contaminantes, lo que a su vez reduce la posibilidad de formación de grietas o fallas en la estructura.
- Existen aditivos químicos, como los superplastificantes y los aglomerantes suplementarios (como las cenizas volantes o el humo de sílice), que mejoran la cohesión del concreto al reducir la cantidad de agua necesaria en la mezcla, lo que disminuye la porosidad y aumenta la resistencia.

En el caso de los materiales poliméricos utilizados en revestimientos de canales o tuberías, la cohesión también es una propiedad vital. Los polímeros, como el PVC o los compuestos epóxicos, deben mantener una alta cohesión para resistir los esfuerzos mecánicos a los que están sometidos en obras hidráulicas. Estos materiales suelen tener una alta flexibilidad y capacidad



para adaptarse a deformaciones, lo que les permite mantener su integridad incluso bajo tensiones variables. Los compuestos epóxicos, por ejemplo, son altamente cohesivos y se utilizan frecuentemente en aplicaciones donde se requiere resistencia química y mecánica, como en el recubrimiento de tuberías o estructuras expuestas a agua salina. La cohesión también influye en la resistencia al desgaste de los materiales. Un material cohesivo puede soportar mejor las abrasiones y los impactos de partículas sólidas transportadas por el agua, reduciendo el riesgo de erosión en revestimientos expuestos a corrientes rápidas o turbulentas. Esta propiedad es especialmente importante en las estructuras donde la superficie del revestimiento está en contacto constante con agua que arrastra partículas sólidas, como arena o grava, lo que puede desgastar el material con el tiempo. Materiales como el concreto de alta densidad o las piedras naturales (granito, basalto) son conocidos por su alta cohesión y resistencia al desgaste, lo que los convierte en opciones preferidas para revestimientos en entornos de alta abrasión.

La cohesión es una de las propiedades más relevantes para garantizar la longevidad y seguridad de las estructuras hidráulicas. En situaciones donde los materiales de revestimiento están sometidos a fuerzas de compresión, tracción o torsión, una alta cohesión interna asegura que el material pueda resistir sin descomponerse. Además, la cohesión es crucial para evitar la penetración de agua en los poros del material, lo que podría generar filtraciones o problemas mayores como la erosión interna de la estructura. Un claro ejemplo de la importancia de la cohesión se observa en las presas y muros de contención, donde el revestimiento debe soportar la enorme presión del agua sin ceder. Un material con baja cohesión se fracturaría fácilmente bajo estas condiciones, mientras que uno con una alta cohesión es capaz de distribuir las cargas de manera uniforme, reduciendo la probabilidad de fallos estructurales.

La cohesión es un aspecto fundamental para el rendimiento y durabilidad de los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas. Su capacidad para mantener unidas las partículas internas bajo cargas y tensiones variadas es lo que garantiza la integridad estructural de las estructuras sometidas a presiones extremas. La incorporación de fibras, agregados de alta



calidad y aditivos químicos puede mejorar significativamente la cohesión, asegurando que los materiales resistan las demandas de las obras hidráulicas a lo largo del tiempo.

A lo largo de este capítulo, se han examinado en detalle las diversas propiedades físicas y mecánicas que determinan el comportamiento de los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas. Desde la resistencia a la compresión y la tracción, hasta la ductilidad, tenacidad y fatiga, cada propiedad juega un papel vital en la capacidad de los materiales para soportar las exigentes condiciones a las que se enfrentan en estos entornos. Se ha discutido cómo características como la resistencia al impacto, la abrasión, y la cohesión garantizan la integridad estructural y la longevidad de las obras hidráulicas, al mismo tiempo que se resaltaron los métodos para mejorar estas propiedades mediante refuerzos y aditivos. Finalmente, el análisis de estas propiedades permite una selección informada de materiales que optimizan el rendimiento y minimizan el riesgo de fallos estructurales, asegurando que las obras hidráulicas cumplan su función de manera eficiente y segura a lo largo del tiempo.

## 4.5 Capítulo 5

Este capítulo explora la importancia de cumplir con los marcos normativos y estándares técnicos que rigen la ingeniería hidráulica. Estas regulaciones garantizan que los materiales utilizados en el revestimiento de estructuras críticas, como presas, canales y embalses, cumplan con los requisitos de seguridad, durabilidad y sostenibilidad. Las normativas tanto globales como nacionales, establecidas por organismos como la ISO, ASTM y, a nivel local en Colombia, la NSR-10, aseguran que los materiales seleccionados para estas obras no solo sean funcionales, sino también resistentes a factores como la presión hidráulica, el desgaste mecánico y las condiciones ambientales. Este capítulo ofrece una visión detallada de las normativas más relevantes y su aplicación en diferentes contextos, con el fin de asegurar que las estructuras hidráulicas cumplan con los más altos estándares de ingeniería y seguridad.



#### 4.5.1 Normativas y Estándares Aplicables en la Selección y Uso de Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas

La selección y uso de materiales de revestimiento en obras hidráulicas están regulados por diversas normativas y estándares internacionales que garantizan la seguridad, durabilidad y eficiencia de estas infraestructuras. La seguridad es el aspecto más crítico en las obras hidráulicas. Cualquier defecto o fallo en el revestimiento de una estructura como una presa o un canal puede llevar al colapso estructural, lo que podría causar inundaciones masivas, pérdida de vidas y daños al entorno natural. Las normativas de seguridad establecen requisitos precisos sobre cómo deben diseñarse y construirse los revestimientos para soportar las presiones hidrostáticas, la erosión, el desgaste por abrasión y otras fuerzas dinámicas a las que están expuestas las estructuras. Por ejemplo, el Euro código 7 y el Euro código 8 proporcionan directrices específicas para el diseño de estructuras hidráulicas en zonas sísmicas, asegurando que los revestimientos puedan soportar terremotos y otros movimientos del terreno. (Valenzuela, 2016)

Los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas deben ser extremadamente duraderos, ya que están en contacto constante con el agua y otros elementos naturales que pueden degradarlos con el tiempo. Esto incluye la resistencia a la corrosión, la erosión y la fatiga mecánica. Las normativas internacionales, como las de la ASTM International y la ISO, proporcionan estándares que aseguran que los materiales utilizados en revestimientos hidráulicos cumplan con los requisitos de resistencia y longevidad. La durabilidad no solo está relacionada con la vida útil de la estructura, sino también con la eficiencia económica, ya que reemplazar materiales defectuosos o dañados puede generar costos adicionales a lo largo del tiempo.

Hoy en día, las normas ambientales también desempeñan un papel esencial en la selección de materiales. Normativas como la ISO 14001 y la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, aseguran que los materiales seleccionados no solo sean funcionales, sino también respetuosos con el medio ambiente. Se priorizan los materiales que tienen un impacto mínimo en el ecosistema, que sean reciclables o de bajo impacto ecológico, y que cumplan con criterios de



ciclo de vida que aseguren que, una vez instalados, no dañarán los cuerpos de agua ni las áreas circundantes.

Las regulaciones internacionales, como las de la ISO y la ASTM, crean un marco global para la selección y uso de materiales, lo que facilita la homogeneidad de criterios y la transferencia de tecnología entre diferentes países. Por otro lado, las normativas nacionales y locales permiten adaptar estas normativas globales a las particularidades de cada región, teniendo en cuenta factores como el clima, la geografía y los requisitos específicos de las estructuras hidráulicas. Por ejemplo, en Estados Unidos, organismos como la FERC y el USACE regulan los estándares específicos para presas y canales en función de la ubicación y el tipo de obra, mientras que, en España, el Código Técnico de la Edificación establece normas para la impermeabilización y la resistencia estructural de materiales de revestimiento en entornos hidráulicos.

Los materiales seleccionados para obras hidráulicas deben poder mantener su rendimiento bajo condiciones extremadamente exigentes. Estas estructuras suelen estar sometidas a presiones fluctuantes, cambios de temperatura y la constante acción erosiva del agua. Las normativas definen parámetros específicos de resistencia a la compresión, tensión, y flexión, que deben cumplir los materiales utilizados en las estructuras. Esto incluye pruebas de laboratorio y de campo para garantizar que los materiales elegidos puedan soportar las condiciones extremas y prolongar la vida útil de la infraestructura.

#### 4.5.2 Normativas y Estándares Globales:

A nivel internacional, las normativas y estándares globales que rigen la selección y uso de materiales de revestimiento en obras hidráulicas tienen como objetivo principal garantizar la seguridad, durabilidad y sostenibilidad de las infraestructuras hidráulicas. Estas normativas son esenciales no solo para asegurar el cumplimiento de altos estándares de calidad, sino también para mitigar el impacto ambiental de las construcciones, maximizar la eficiencia operativa y proteger a las comunidades cercanas a estas estructuras.



Organismos internacionales como la ISO (International Organization for Standardization) y ASTM International (American Society for Testing and Materials) han desarrollado un conjunto de directrices técnicas para regular la producción, instalación y mantenimiento de materiales de revestimiento utilizados en proyectos hidráulicos. Estas normativas abordan una amplia variedad de aspectos, desde las propiedades físicas y mecánicas de los materiales hasta el manejo ambiental y los procedimientos de control de calidad. (ICMSC, 2019)

### ISO y sus Normas Relevantes

La ISO 9001, aunque es una norma genérica, es fundamental en la gestión de calidad de los materiales de revestimiento. Esta norma establece un marco para que las empresas implementen sistemas de gestión de calidad efectivos, que aseguren la consistencia en la fabricación y suministro de los materiales. En el contexto de las obras hidráulicas, la consistencia y uniformidad de los materiales son esenciales, ya que cualquier variabilidad en la producción puede resultar en fallas estructurales. Además, ISO 9001 ayuda a garantizar que los procedimientos de prueba y control de calidad sean rigurosos, reduciendo así el riesgo de defectos. Otra norma crítica es la ISO 14001, que se centra en la gestión ambiental de los proyectos de construcción. Dado el creciente enfoque en la sostenibilidad, las empresas que suministran y utilizan materiales de revestimiento en obras hidráulicas deben cumplir con esta norma para minimizar su impacto ambiental. ISO 14001 no solo se refiere a la eficiencia en el uso de recursos, sino también a la correcta gestión de residuos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante los procesos de construcción y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas. (Norma ISO 9001, 2013)

### ASTM International y Especificaciones Técnicas

ASTM International ofrece normativas técnicas detalladas para los diferentes materiales que se utilizan en revestimientos de obras hidráulicas. Estas normas son especialmente útiles para definir las características físicas, químicas y mecánicas que deben cumplir los materiales bajo diversas condiciones operativas. Por ejemplo, ASTM C33 establece las especificaciones para los



agregados utilizados en la producción de concreto hidráulico, incluyendo criterios sobre granulometría, resistencia y durabilidad. Dado que el concreto es uno de los materiales más utilizados en proyectos hidráulicos como canales y presas, es fundamental que los agregados cumplan con estos estándares para garantizar la resistencia del concreto a largo plazo, especialmente en condiciones de alta presión y exposición al agua. En el ámbito de las membranas impermeabilizantes, la norma ASTM D6693 establece las pruebas y especificaciones para las membranas de polietileno de alta densidad (HDPE), que se utilizan comúnmente en revestimientos impermeables de diques, embalses y estanques. Estas membranas deben someterse a pruebas de tracción, elongación y resistencia al impacto, lo que asegura que pueden mantener su integridad bajo condiciones de estrés mecánico y exposición a productos químicos. Las normativas no solo proporcionan directrices sobre las propiedades y características de los materiales, sino que también establecen los métodos de prueba en laboratorio y campo para verificar su cumplimiento. Por ejemplo, las pruebas de laboratorio pueden incluir ensayos de resistencia a la compresión, permeabilidad y durabilidad frente a ciclos de congelación y descongelación. Estas pruebas son vitales para simular las condiciones a las que los materiales estarán expuestos en las obras hidráulicas reales, y aseguran que los materiales sean adecuados para soportar los rigores del entorno. (Normas ASTM, 2024)

En el campo, las normativas también exigen inspecciones periódicas y pruebas de desempeño una vez que los materiales han sido instalados. Esto es esencial para verificar que los materiales no solo cumplan con los requisitos en un entorno controlado, sino también que mantengan su desempeño durante la vida útil de la infraestructura. La implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento basados en estas normativas asegura que cualquier problema, como la degradación del material o la aparición de fisuras, se detecte a tiempo y se pueda corregir antes de que comprometa la integridad de la estructura. Dado que muchos proyectos hidráulicos involucran a empresas y proveedores de diferentes países, es fundamental que las normativas estén armonizadas a nivel internacional. Esto facilita la colaboración entre



diferentes partes interesadas y asegura que los materiales utilizados cumplan con los mismos estándares de calidad, independientemente de su lugar de origen. Los proyectos hidráulicos a gran escala, como represas internacionales o redes de irrigación transfronterizas, requieren que los materiales y métodos de construcción se ajusten a normativas globales para asegurar su éxito.

Las normativas y estándares globales desempeñan un papel crucial en la selección y uso de materiales de revestimiento en obras hidráulicas. No solo aseguran que los materiales cumplan con requisitos de rendimiento bajo condiciones operativas difíciles, sino que también fomentan prácticas responsables desde el punto de vista ambiental y de gestión de calidad. La adherencia a estas normativas es vital para garantizar que las infraestructuras hidráulicas sean seguras, duraderas y sostenibles a largo plazo.

#### 4.5.3 Normativas Nacionales

En Colombia, al igual que en muchos países, existen normativas específicas para garantizar la calidad, seguridad y durabilidad de los materiales utilizados en obras hidráulicas. Estas normativas nacionales son esenciales, ya que complementan los estándares internacionales, asegurando que las condiciones locales sean consideradas y que se cumplan con los requisitos técnicos y ambientales pertinentes.

##### Normativa Nacional de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)

La NSR-10 es una de las normativas más importantes en Colombia y regula las condiciones de diseño y construcción de infraestructuras, incluyendo obras hidráulicas. Aunque su enfoque principal está en la resistencia sísmica, también establece requisitos para los materiales de construcción en general, tales como el concreto, especificando sus características mecánicas y de durabilidad. En obras hidráulicas, es crucial que los materiales de revestimiento cumplan con estas especificaciones, ya que las estructuras pueden estar expuestas a movimientos sísmicos y cargas dinámicas. (NSR-10, 2010)



### Normas Técnicas Colombianas (NTC)

La NTC ha adoptado diversos estándares internacionales, como los de la ASTM, para garantizar que los materiales utilizados en la construcción de obras hidráulicas cumplan con parámetros estrictos de calidad. Las NTC establecen, por ejemplo, los requisitos para el concreto utilizado en estructuras expuestas al agua, su resistencia a la compresión, y las pruebas de permeabilidad que deben realizarse. Además, en lo referente a los revestimientos impermeables, la NTC 5147 define las especificaciones para geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE), garantizando su durabilidad y resistencia frente a la presión hidráulica y agentes químicos presentes en el agua. (MEN, 2006)

### Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)

La ANLA regula el impacto ambiental de proyectos hidráulicos en Colombia. Aunque su foco principal no es necesariamente la especificación técnica de los materiales, sí establece normativas sobre el manejo ambiental y la sostenibilidad de los materiales utilizados en obras. Es fundamental que los materiales de revestimiento cumplan con criterios ambientales para minimizar el impacto en ecosistemas acuáticos, lo que incluye la selección de materiales no contaminantes y con alta durabilidad, reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente. (ANLA, 2019)

### Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

El Ministerio ha emitido directrices que rigen los estándares de calidad para la construcción de obras hidráulicas, en conjunto con las regulaciones sobre urbanismo y manejo del agua. Entre las normativas más relevantes, se incluyen las disposiciones sobre el uso de concreto reforzado en infraestructuras expuestas a condiciones extremas, como las represas y las plantas de tratamiento de agua, asegurando que los materiales utilizados no solo sean resistentes a las cargas mecánicas, sino también a la corrosión y al desgaste. (PDH, 2003)

Además de las normativas generales, Colombia tiene condiciones geográficas y climáticas que deben ser tomadas en cuenta al seleccionar los materiales de revestimiento. Por ejemplo, en



áreas costeras o de alta pluviosidad, los materiales deben ser resistentes a la acción del agua salina o a los ciclos de congelación y descongelación en zonas montañosas. Esto ha llevado a una adopción más estricta de materiales como las membranas geo sintéticas y concretos modificados, que cumplen con las normativas internacionales y responden adecuadamente a las condiciones locales.

#### 4.5.4 Sustentabilidad y Normas Ambientales

En las últimas décadas, el enfoque hacia la sostenibilidad en la construcción y operación de obras hidráulicas ha cobrado una gran relevancia. La creciente conciencia sobre el impacto ambiental de estos proyectos ha impulsado el desarrollo y la implementación de normativas específicas que promuevan prácticas sostenibles y responsables. Estas normativas no solo exigen que los proyectos sean eficientes desde el punto de vista operativo, sino que también se minimice su impacto sobre los ecosistemas y el entorno natural circundante.

##### Directiva Marco del Agua (DMA)

Uno de los referentes clave en el contexto internacional es la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea, que establece un marco legal para la gestión sostenible de los recursos hídricos. Esta directiva tiene como objetivo proteger y mejorar el estado de las aguas continentales y costeras, asegurando su uso sostenible. En relación con los materiales de revestimiento, la DMA exige que se utilicen productos que minimicen la contaminación del agua y preserven la biodiversidad, así como que se reduzca el uso de sustancias tóxicas en las obras hidráulicas. La DMA también promueve la integración de enfoques basados en ecosistemas, lo que implica que los materiales seleccionados deben tener en cuenta no solo su impacto inmediato, sino también su influencia a largo plazo en el ciclo del agua y la ecología de la región. Esto significa que los proyectos deben incluir evaluaciones ambientales rigurosas, asegurándose de que las soluciones implementadas para el revestimiento de canales, presas o conducciones sean compatibles con los principios de sostenibilidad y resiliencia ambiental. (DMA, 2001)



### ISO 21930: Evaluación del Ciclo de Vida de Materiales

Otra normativa relevante en el ámbito de la sostenibilidad es la ISO 21930, que se centra en la evaluación del impacto ambiental de los productos de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Esta norma promueve una visión integral de la sostenibilidad, considerando no solo la producción y el uso de materiales, sino también su disposición final y su potencial para ser reciclados o reutilizados. En el contexto de las obras hidráulicas, esta norma fomenta la selección de materiales que no solo cumplan con los requisitos técnicos y de durabilidad, sino que también minimicen el impacto sobre el medio ambiente a lo largo de su vida útil. El enfoque del ciclo de vida permite identificar las fases críticas en las que un material puede generar mayores impactos ambientales, como el consumo de energía en su fabricación, la emisión de gases contaminantes, o la liberación de sustancias tóxicas al entorno acuático. Esta visión fomenta la innovación en la industria de la construcción, impulsando el uso de materiales más sostenibles, como geosintéticos biodegradables o concretos fabricados con aditivos reciclados, que no comprometan la calidad del agua ni los ecosistemas asociados. (Morientes, 2017)

### Normativas de Reciclabilidad y Materiales Ecológicos

En línea con las normativas internacionales, muchos países han adoptado directrices que promueven la reciclabilidad y el uso de materiales ecológicos en proyectos de infraestructura. En Colombia, por ejemplo, los proyectos que implican obras hidráulicas están sometidos a una evaluación ambiental por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), que examina el impacto ambiental del ciclo de vida completo de los materiales de revestimiento. La ANLA promueve el uso de materiales que puedan ser reciclados o que provengan de fuentes renovables, como los polímeros de origen biológico o los materiales compuestos que presentan una menor huella de carbono. El uso de revestimientos sostenibles no solo garantiza la eficiencia operativa de las obras hidráulicas, sino que también contribuye a la reducción de emisiones de carbono y de residuos. Los materiales ecológicos, como los recubrimientos a base de arcilla



natural o geotextiles biodegradables, son cada vez más comunes en la industria, ya que no generan impactos negativos a largo plazo sobre los suelos ni las aguas. (Sánchez, 2019)

### Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones

Las normativas ambientales también abogan por el uso de tecnologías que reduzcan la demanda energética en la fabricación de materiales y en el proceso de construcción de obras hidráulicas. En el marco de la ISO 14001, se promueve la implementación de sistemas de gestión ambiental que optimicen el uso de recursos y minimicen las emisiones contaminantes durante todas las fases del proyecto. Los materiales seleccionados para el revestimiento de canales o presas deben cumplir con criterios de eficiencia energética, contribuyendo a una menor huella ambiental. Por ejemplo, el uso de concretos de alta resistencia que requieren menos volumen de material puede reducir la cantidad de recursos extraídos y el transporte, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. Asimismo, los recubrimientos poliméricos y geotextiles de nueva generación están diseñados para tener una mayor durabilidad, lo que implica menores necesidades de mantenimiento y, por tanto, una menor demanda energética a lo largo de la vida útil de la infraestructura.

#### **4.5.5 Normas de Seguridad y Resistencia**

La seguridad en las obras hidráulicas es de suma importancia, especialmente en estructuras críticas como presas, embalses, canales y sistemas de drenaje. Las normativas que regulan la selección y uso de materiales de revestimiento en estas infraestructuras buscan garantizar que las estructuras puedan resistir tanto condiciones operativas normales como fenómenos naturales extremos. Las normas de seguridad y resistencia establecen parámetros que deben cumplir los materiales utilizados para revestir y proteger estas estructuras, asegurando su durabilidad, estabilidad y funcionamiento bajo diversas condiciones adversas. En este contexto, destacan normativas internacionales como los euros códigos, que proporcionan directrices para el diseño y evaluación de infraestructuras sometidas a diferentes tipos de esfuerzos y riesgos.



### Euro código 7: Diseño Geotécnico

El Euro código 7 (EN 1997) es una normativa clave en la ingeniería geotécnica, aplicable a la estabilidad y diseño de estructuras relacionadas con el suelo, como cimientos, presas de tierra y estructuras subterráneas. Esta norma especifica los requisitos para la selección de materiales de revestimiento en obras hidráulicas, tomando en cuenta factores como la resistencia al corte del suelo, la capacidad de soporte y la estabilidad de los taludes. El objetivo es garantizar que los materiales utilizados puedan interactuar de manera adecuada con el suelo o la roca, reduciendo el riesgo de colapsos o desplazamientos que comprometan la seguridad estructural. El Euro código 7 también establece procedimientos para realizar análisis de estabilidad bajo diversas condiciones de carga, incluyendo el peso propio del suelo, las fuerzas hidrostáticas y los efectos de terremotos. Los materiales de revestimiento deben, por tanto, seleccionarse no solo por su capacidad de resistir el desgaste mecánico, sino también por su capacidad de contribuir a la estabilidad general del sistema geotécnico en el que se integran. (UNE, 2016)

### Euro código 8: Diseño Sísmico

En áreas sísmicamente activas, como muchas regiones de América Latina, el diseño de estructuras hidráulicas debe cumplir con los requisitos del euro código 8 (EN 1998), que se centra en garantizar la resistencia de las infraestructuras frente a movimientos sísmicos. Esta normativa establece que los materiales de revestimiento deben tener propiedades mecánicas que les permitan absorber y disipar la energía generada por un terremoto sin sufrir daños significativos. En este sentido, se requiere que los revestimientos sean lo suficientemente flexibles para adaptarse a los movimientos del terreno, pero a la vez lo suficientemente resistentes para no fracturarse o colapsar. El Euro código 8 también regula el uso de refuerzos como fibras sintéticas, barras de acero y polímeros en el concreto para mejorar su capacidad de resistencia sísmica. Estos refuerzos permiten que los materiales de revestimiento trabajen conjuntamente con la estructura de soporte, proporcionando una mayor capacidad de deformación controlada sin perder su funcionalidad ni comprometer la seguridad de la estructura hidráulica. Los revestimientos



geotextiles y los sistemas de membranas impermeabilizantes, comúnmente utilizados en presas, también deben cumplir con los requisitos de resistencia sísmica, ya que su falla podría resultar en infiltraciones peligrosas o colapsos. (UNE-EN, 2018)

### Criterios para Fenómenos Naturales: Ciclones e Inundaciones

Además de los terremotos, las normativas internacionales también consideran fenómenos como las crecidas de agua, huracanes y ciclones, que pueden poner a prueba la resistencia de los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas. Normativas como las establecidas por el United States Army Corps of Engineers (USACE) y la Federal Emergency Management Agency (FEMA) en Estados Unidos, proporcionan directrices específicas para garantizar que los materiales de revestimiento puedan soportar los impactos asociados con fenómenos naturales extremos. Por ejemplo, en el caso de embalses y canales expuestos a crecientes repentinas o al impacto directo de masas de agua, los revestimientos deben tener una alta resistencia a la erosión y al desgaste por impacto. El uso de materiales como el concreto reforzado con fibras o los polímeros resistentes al agua y a la abrasión es fundamental para garantizar la estabilidad de la infraestructura en estas situaciones. (OAS, 2012)

### Aplicación en Colombia: Normativas Locales y Adaptación a Condiciones Geográficas

En Colombia, las normativas de seguridad en infraestructura hidráulica están alineadas con estándares internacionales, adaptadas a las condiciones sísmicas y geográficas del país. La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece los criterios para el diseño de estructuras que pueden ser afectadas por sismos, incluyendo presas y otras obras hidráulicas. Esta norma regula no solo el diseño estructural, sino también los materiales que deben utilizarse en el revestimiento, asegurando su capacidad para soportar las condiciones sísmicas que afectan al país. En conjunto con la Ley 1523 de 2012, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), Colombia cuenta con un marco regulatorio robusto para gestionar los riesgos asociados a fenómenos naturales y garantizar la seguridad en las obras hidráulicas. Los proyectos de infraestructura, incluidos aquellos que



involucran revestimientos, deben someterse a estudios detallados de riesgos, asegurando que los materiales seleccionados sean capaces de resistir no solo las cargas operacionales, sino también los impactos de fenómenos naturales.

Finalmente, para asegurar que los materiales de revestimiento cumplen con las normativas de seguridad y resistencia, se realizan diversos ensayos técnicos y pruebas de laboratorio. Las pruebas de resistencia a la compresión, tracción, flexión y fatiga son esenciales para verificar que los materiales seleccionados cumplan con los requisitos establecidos en normas como el ASTM o el ISO. Estas pruebas evalúan cómo se comportarán los materiales bajo diferentes condiciones de carga y estrés, garantizando su viabilidad para su uso en proyectos hidráulicos de gran envergadura.

Este capítulo ha abordado exhaustivamente las normativas y estándares aplicables a la selección y uso de materiales de revestimiento en obras hidráulicas. Desde las normativas internacionales, como las desarrolladas por la ISO y la ASTM, hasta los estándares nacionales que responden a las particularidades geográficas y sísmicas de cada región, se destaca la importancia de seleccionar materiales que aseguren el desempeño adecuado y la seguridad de las estructuras hidráulicas. Asimismo, se ha discutido la creciente relevancia de las normativas ambientales y de sustentabilidad, que promueven el uso responsable y eficiente de los recursos. El cumplimiento de estas normativas no solo garantiza la funcionalidad y durabilidad de las obras hidráulicas, sino que también minimiza los riesgos asociados a factores externos como los fenómenos naturales y los impactos ambientales, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más seguras y sostenibles.

#### 4.6 Capítulo 6: Revisión de Casos de Estudio (Análisis de Proyectos Reales)

El presente capítulo se centra en el análisis detallado de los materiales de revestimiento utilizados en grandes proyectos de infraestructura hidráulica alrededor del mundo. Estas estructuras, vitales para la gestión del agua y la protección contra fenómenos naturales, requieren



el uso de tecnologías avanzadas para asegurar su durabilidad y funcionamiento a largo plazo. Desde los geosintéticos hasta los recubrimientos anticorrosivos, los materiales de revestimiento no solo protegen las superficies expuestas a las fuerzas erosivas y abrasivas del agua, sino que también contribuyen a la estabilidad y seguridad de las obras en entornos complejos. A través del estudio de casos icónicos como la Presa de Itaipú y la Barrera del Támesis, se busca ilustrar cómo la evolución de los materiales ha permitido a los ingenieros afrontar los desafíos de las infraestructuras hidráulicas modernas.

#### 4.6.1 Caso 1: Presa Hoover, Estados Unidos

La Presa Hoover es uno de los proyectos más emblemáticos donde se han empleado materiales de revestimiento avanzados. representa un logro monumental en la ingeniería civil y la gestión de recursos hídricos. Construida durante la Gran Depresión, entre 1931 y 1936, esta presa fue parte de un proyecto titánico destinado a controlar las aguas del río Colorado, proporcionar agua para riego, generación de energía hidroeléctrica y control de inundaciones.

El concreto utilizado en la construcción de la presa fue un concreto de alto rendimiento, desarrollado específicamente para enfrentar los desafíos técnicos del proyecto. Uno de los mayores retos durante la construcción fue la gestión del calor generado por el fraguado del concreto. Dado el tamaño masivo de la estructura, el concreto, al fraguar, podría haber generado un calor significativo que provocaría grietas y comprometería la integridad de la presa. Para evitar esto, se implementaron técnicas de enfriamiento mediante tuberías de refrigeración embebidas en el concreto que circulaban agua fría para disipar el calor. Este método no solo permitió un fraguado controlado, sino que también garantizó la durabilidad a largo plazo de la estructura.

Además del concreto, se utilizaron materiales de revestimiento adicionales a lo largo de la vida útil de la presa para garantizar su integridad. Por ejemplo, los recubrimientos poliméricos se han aplicado en áreas críticas para proteger contra la erosión causada por el flujo de agua y para



prevenir la filtración. Estos recubrimientos son vitales en una estructura que está en contacto constante con grandes volúmenes de agua y que, por lo tanto, está sujeta a un desgaste considerable.

El mantenimiento de la Presa Hoover también ha incluido la implementación de revestimientos especializados para las compuertas y otros componentes mecánicos, donde la resistencia a la abrasión y la durabilidad son esenciales. Estos revestimientos aseguran que las compuertas, que están en constante movimiento y sujetas a grandes presiones, continúen funcionando de manera óptima.

El impacto de la Presa Hoover va más allá de su funcionalidad; también ha servido como modelo para proyectos de infraestructura hidráulica en todo el mundo. Su construcción y mantenimiento han proporcionado valiosos aprendizajes sobre el comportamiento de los materiales de revestimiento en condiciones extremas, y han impulsado la innovación en el desarrollo de nuevos materiales más eficientes y duraderos para aplicaciones similares. (Writz, 2021)

#### 4.6.2 Caso 2: Canal de Suez, Egipto

El Canal de Suez, una de las rutas marítimas más cruciales del mundo, ha sido sometido a varios proyectos de modernización que incluyen el uso de materiales de revestimiento. Ubicado en Egipto, es una de las rutas marítimas más importantes del mundo, conectando el Mar Mediterráneo con el Mar Rojo y, por lo tanto, Europa con Asia. Este canal, que fue inaugurado en 1869, ha sido sometido a múltiples proyectos de modernización a lo largo de los años para adaptarse a las crecientes demandas del tráfico marítimo y mantener su operatividad en condiciones óptimas. Uno de los aspectos críticos en la conservación y mejora del Canal de Suez ha sido el uso de materiales de revestimiento modernos, como geomembranas y geosintéticos, en distintas secciones del canal.



En particular, el uso de geomembranas ha sido fundamental para mejorar la impermeabilización de las paredes del canal, especialmente en áreas donde los suelos son inestables o altamente permeables. Las geomembranas actúan como barreras impermeables que evitan la infiltración de agua en las paredes y el subsuelo del canal, lo que es crucial para mantener la integridad estructural del mismo. Estos materiales no solo ayudan a prevenir la erosión, sino que también contribuyen a la gestión de filtraciones que podrían comprometer la estabilidad del canal en el largo plazo.

Además, los geosintéticos, que incluyen materiales como geotextiles y geos compuestos, han sido empleados para reforzar las secciones del canal que requieren mayor estabilidad y protección contra la erosión. Estos materiales son particularmente efectivos en la protección de taludes y en la estabilización del suelo, lo que permite que el canal mantenga sus dimensiones y funcionalidad incluso en condiciones geotécnicas adversas. El uso de estos revestimientos ha sido crucial en la preservación del canal, asegurando que continúe operando de manera eficiente y segura para el tráfico marítimo global.

Los proyectos de modernización del Canal de Suez que han incluido la aplicación de estos materiales también han permitido incrementar la capacidad del canal, lo que ha sido esencial para mantener su relevancia en el comercio global. Estas mejoras han facilitado el paso de embarcaciones más grandes y han reducido los tiempos de tránsito, contribuyendo a la eficiencia de las rutas comerciales internacionales.

El impacto de estas tecnologías de revestimiento en el Canal de Suez ha sido significativo, no solo en términos de preservación de la estructura, sino también en la mejora de la sostenibilidad y la operatividad del canal en un contexto de desafíos geotécnicos y ambientales. (Otero, 2020).



### 4.6.3 Caso 3: Proyecto de Rehabilitación del Sistema de Riego en el Valle de San Joaquín, California

Este proyecto implicó la rehabilitación de un sistema de riego esencial para la agricultura en el Valle de San Joaquín. Se utilizaron geomembranas y geotextiles para revestir canales y reservorios de agua, lo que resultó en una reducción significativa de las pérdidas de agua por filtración. Este proyecto, crucial para una de las regiones agrícolas más productivas de los Estados Unidos, se enfocó en mejorar la infraestructura de riego para reducir las pérdidas de agua y optimizar la distribución de este recurso vital.

El Valle de San Joaquín es conocido por sus extensas tierras de cultivo que requieren un riego constante para mantener la producción agrícola. Sin embargo, el sistema de riego original presentaba problemas significativos de filtración de agua, lo que resultaba en una considerable pérdida de este recurso. Para abordar estos desafíos, se implementó un plan de rehabilitación que incluía la instalación de geomembranas y geotextiles en los canales de riego y los reservorios de agua.

Las geomembranas utilizadas en este proyecto actuaron como barreras impermeables que previenen la filtración del agua en el suelo circundante, lo que permitió una mayor eficiencia en el uso del agua. Este enfoque no solo conservó el agua, sino que también redujo la necesidad de mantenimiento constante, ya que las geomembranas tienen una larga vida útil y son resistentes a la degradación. Asimismo, los geotextiles, que se emplearon en combinación con las geomembranas, ayudaron a estabilizar los taludes de los canales y a mejorar la integridad estructural del sistema de riego.

Además de las mejoras en la eficiencia del riego, la rehabilitación del sistema permitió a los agricultores del Valle de San Joaquín mantener su productividad en un contexto de crecientes restricciones hídricas. El éxito del proyecto ha sido un modelo para otras regiones agrícolas del



mundo, donde la escasez de agua y la necesidad de una gestión sostenible de los recursos son prioridades clave.

Este proyecto ha demostrado cómo la aplicación de tecnologías de revestimiento puede transformar la infraestructura agrícola, haciéndola más sostenible y eficiente. Las lecciones aprendidas en el Valle de San Joaquín han llevado a la adopción de estas técnicas en otros proyectos de riego a nivel global, destacando la importancia de innovar en la gestión de recursos hídricos en la agricultura. (Ramírez, 2013).

#### 4.6.4 Caso 4: Túneles de Metro en Londres, Reino Unido

En la construcción y mantenimiento de los túneles del metro de Londres, se han utilizado membranas impermeabilizantes pulverizadas, combinadas con concreto proyectado, para garantizar la durabilidad y resistencia estructural. se ha implementado una combinación de membranas impermeabilizantes pulverizadas y concreto proyectado para enfrentar los desafíos únicos de esta infraestructura subterránea. Londres, con su densa población urbana y la complejidad de su geología, presenta condiciones difíciles para la construcción subterránea, especialmente con la presencia constante de agua subterránea.

Las membranas impermeabilizantes pulverizadas se aplican como una capa protectora sobre las superficies internas del túnel, creando una barrera eficaz contra la filtración de agua. Estas membranas están diseñadas para ser flexibles y adaptarse a las irregularidades de la estructura, lo que permite una cobertura uniforme y continua, fundamental en la prevención de filtraciones. El concreto proyectado, también conocido como "shotcrete", se aplica en capas finas, lo que facilita una construcción rápida y efectiva en los espacios confinados de los túneles.

La combinación de estos materiales ha demostrado ser sumamente eficaz en prolongar la vida útil de los túneles del metro. No solo proporcionan una resistencia adicional a la estructura frente a la presión hidrostática y otros factores ambientales, sino que también han reducido significativamente los costos de mantenimiento a largo plazo. Este enfoque de construcción se ha



convertido en un estándar en proyectos de infraestructura subterránea en entornos urbanos complejos, donde la gestión del agua subterránea es crucial para la durabilidad de la estructura.

La implementación de estas tecnologías no solo ha mejorado la seguridad y eficiencia del metro de Londres, sino que también ha servido como modelo para otros proyectos de infraestructura subterránea en ciudades con condiciones geológicas similares. Este caso ejemplifica cómo la innovación en materiales de construcción puede abordar desafíos específicos de la ingeniería civil, mejorando la sostenibilidad y reduciendo el impacto económico a largo plazo. (O'Hare, 2023).

#### 4.6.5 Caso 5: Presa Itaipú, Paraguay/Brasil

La Presa Itaipú, ubicada en el río Paraná, en la frontera entre Paraguay y Brasil, es una de las mayores plantas hidroeléctricas del mundo y representa una de las obras de ingeniería más importantes del siglo XX. Con una capacidad de generación superior a 14.000 MW, Itaipú suministra aproximadamente el 75% de la electricidad consumida en Paraguay y alrededor del 15% de la electricidad de Brasil, consolidándose no solo como una maravilla técnica, sino también como un elemento fundamental para el desarrollo energético y económico de ambos países.

La construcción de la presa comenzó en 1975 y finalizó en 1984. Desde el inicio del proyecto, el uso de materiales avanzados de revestimiento fue esencial para asegurar la durabilidad y seguridad de la estructura, que debía soportar las enormes presiones hidrostáticas generadas por el embalse, que tiene una longitud de 170 km y una superficie de 1.350 km². El material más importante utilizado fue el concreto de alto rendimiento, y más de 12 millones de metros cúbicos fueron empleados para construir la presa. Este concreto fue diseñado para soportar presiones y tensiones extremas debido al enorme volumen de agua. Uno de los principales retos fue el calor generado durante el fraguado del concreto, que se mitigó con un



sistema de enfriamiento mediante tuberías que circulaban agua fría en su interior. Además del concreto de alta resistencia, se implementaron recubrimientos poliméricos en áreas estratégicas de la presa que están en contacto constante con grandes volúmenes de agua en movimiento. Estos recubrimientos protegen la estructura contra la erosión y minimizan las filtraciones, siendo claves para garantizar la longevidad y funcionalidad de la presa a largo plazo. Estos recubrimientos también se utilizan en componentes mecánicos, como las compuertas y los canales de desagüe, para soportar las altas presiones del agua y prevenir el desgaste prematuro.

Uno de los mayores desafíos durante la construcción de Itaipú fue el manejo del caudal del río Paraná. Se implementaron desvíos temporales y soluciones innovadoras que permitieron trabajar en la estructura principal sin que el flujo de agua obstaculizara el proceso. También se emplearon geomembranas y materiales geosintéticos en áreas críticas para mejorar la estabilidad geotécnica, evitar filtraciones y proteger los suelos circundantes. El impacto de Itaipú va más allá de su capacidad de generar electricidad. Al ser una fuente principal de energía renovable, ha contribuido enormemente a la reducción de emisiones de carbono en ambos países. Desde su construcción, ha evitado la emisión de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que la convierte en un ejemplo de cómo una infraestructura de este tipo puede desempeñar un papel clave en la lucha contra el cambio climático. Además, la presa ha jugado un rol vital en la gestión de los recursos hídricos de la región, controlando inundaciones y mitigando el impacto de crecidas en el río Paraná.

El caso de Itaipú es de particular relevancia a nivel global por varias razones. En primer lugar, debido a la magnitud del proyecto y la complejidad técnica involucrada, ha sido un modelo de referencia para otras grandes infraestructuras hidroeléctricas. En segundo lugar, la innovación en el uso de materiales de revestimiento avanzados, como el concreto especializado y los recubrimientos poliméricos, ha sido crucial para el éxito del proyecto y ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías aplicables a otras obras hidráulicas. En tercer lugar, Itaipú ha demostrado que es posible generar energía de manera sostenible, proporcionando electricidad a



millones de personas sin recurrir a fuentes contaminantes, lo que la convierte en un referente en el uso de energías limpias. (Chivata, 2015)

Su impacto en el desarrollo regional ha sido significativo, tanto en términos de generación de empleo como en el suministro de electricidad, lo que ha impulsado el crecimiento económico de Paraguay y Brasil. Además, el control de las inundaciones ha beneficiado a las comunidades locales, demostrando cómo una infraestructura de este tipo puede tener un impacto positivo en diversos aspectos más allá de la producción de energía. La Presa Itaipú es un claro ejemplo de cómo la ingeniería, combinada con la innovación en materiales y métodos constructivos, puede superar desafíos estructurales y ambientales de gran escala, al tiempo que proporciona beneficios sociales, económicos y ambientales a largo plazo.

#### 4.6.6 Caso 6: Canal de Panamá, Panamá

El Canal de Panamá es una de las obras de ingeniería más influyentes de la historia, marcando un antes y un después en el comercio global al conectar el Océano Atlántico con el Océano Pacífico. Finalizado en 1914, este canal ha sido un punto crítico para el transporte marítimo internacional, facilitando el paso de miles de embarcaciones anualmente. Sin embargo, debido a su ubicación geográfica y a las condiciones únicas a las que está expuesto, como la interacción constante con agua salada y dulce, el Canal de Panamá ha requerido soluciones técnicas avanzadas para garantizar su durabilidad y funcionalidad a lo largo de más de un siglo.

Uno de los principales desafíos a los que se enfrenta el canal es la exposición a la corrosión, que afecta principalmente a las esclusas y otras estructuras metálicas que están en contacto constante con el agua. Este riesgo se ve incrementado por la naturaleza mixta del agua que circula por el canal, ya que las esclusas conectan cuerpos de agua dulce y salada. Este entorno agresivo requiere el uso de recubrimientos anticorrosivos especializados para proteger las estructuras de acero de las esclusas y otros elementos sometidos al desgaste constante. Los recubrimientos protectores, como pinturas epóxicas y revestimientos poliméricos, han sido



fundamentales para prolongar la vida útil de estas estructuras. Estos materiales no solo proporcionan una barrera física entre el metal y los elementos corrosivos, sino que también poseen propiedades que les permiten adaptarse a los movimientos térmicos y a las expansiones y contracciones de los metales en función de las condiciones ambientales.

En 2016, el Canal de Panamá fue sometido a un ambicioso proyecto de ampliación, que incluyó la construcción de nuevas esclusas más grandes, conocidas como las esclusas de Cocolí y Agua Clara. Estas nuevas estructuras permiten el paso de buques de mayor tamaño (los llamados "Neo-Panamax"), ampliando la capacidad operativa del canal y asegurando su relevancia en el comercio internacional. La ampliación presentó nuevos desafíos técnicos en cuanto al uso de materiales de revestimiento, ya que las esclusas de mayor tamaño implican mayores presiones hidráulicas y una mayor exposición a la acción abrasiva del agua. Para mitigar estos riesgos, se emplearon geomembranas y recubrimientos de alta resistencia para garantizar la impermeabilización y proteger las estructuras contra la erosión y el desgaste mecánico. Uno de los aspectos más innovadores de este proyecto fue el uso de geosintéticos, que se emplearon tanto en la construcción de las esclusas como en las áreas circundantes, donde la estabilidad del suelo era crítica para evitar filtraciones y mantener la integridad estructural. Los geosintéticos, incluyendo geotextiles y geomembranas, no solo proporcionan refuerzo y estabilidad al terreno, sino que también actúan como barreras impermeables que evitan la infiltración de agua en las zonas sensibles de la estructura. Estos materiales han demostrado ser altamente efectivos en prolongar la vida útil del canal y minimizar los costos de mantenimiento, lo que resulta crucial dado el rol estratégico del canal como una de las principales arterias comerciales del mundo.

Además de los avances en los materiales de revestimiento, el Canal de Panamá también ha adoptado tecnologías de vanguardia en cuanto al monitoreo y mantenimiento de las estructuras. El uso de sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real permite detectar tempranamente cualquier signo de deterioro en los revestimientos o en las estructuras subyacentes, lo que facilita la realización de reparaciones antes de que se presenten fallos críticos. Este enfoque preventivo



ha sido fundamental para mantener la operatividad continua del canal, minimizando las interrupciones que podrían tener un impacto significativo en el comercio mundial. La importancia del Canal de Panamá no solo radica en su función como ruta comercial vital, sino también en su capacidad para adaptarse y evolucionar con el tiempo. Las soluciones de revestimiento y protección utilizadas en el canal han sido esenciales para garantizar su funcionamiento eficiente en un entorno tan exigente. Además, el éxito del proyecto de ampliación ha demostrado cómo la innovación en materiales y técnicas constructivas puede resolver los desafíos más complejos de la ingeniería civil. (Arauz, 2003)

Este caso es particularmente relevante a nivel mundial por varias razones. En primer lugar, el Canal de Panamá es una pieza clave del comercio global, conectando mercados en Asia, Europa y América, lo que significa que cualquier interrupción en su operación tiene repercusiones económicas significativas. En segundo lugar, el uso de materiales avanzados, como los geosintéticos y recubrimientos anticorrosivos, ha permitido que el canal mantenga su operatividad durante más de un siglo, siendo un ejemplo de sostenibilidad y eficiencia en la gestión de grandes infraestructuras. En tercer lugar, la ampliación del canal y la adopción de tecnologías de monitoreo avanzadas han permitido que se mantenga competitivo y relevante frente a los crecientes desafíos del transporte marítimo moderno.

#### 4.6.7 Caso 7: Presa de las Tres Gargantas, China

La Presa de las Tres Gargantas, ubicada en el río Yangtsé en China, es un proyecto monumental que representa un logro sobresaliente en la ingeniería hidráulica. Finalizada en 2012, es actualmente la mayor planta hidroeléctrica del mundo, con una capacidad de generación eléctrica de 22.500 megavatios. La presa no solo es colosal en términos de tamaño, con una longitud de 2.335 metros y una altura de 185 metros, sino también en su capacidad para gestionar



y almacenar volúmenes masivos de agua, lo que plantea una serie de retos únicos en la selección y uso de materiales de revestimiento y construcción.

Uno de los mayores desafíos técnicos que enfrentó la construcción de la presa fue el control de las filtraciones y la erosión. Dado el gigantesco volumen de agua que retiene la presa, las tensiones hidrostáticas ejercen una presión inmensa sobre las estructuras. Para mitigar estos efectos, se utilizaron geomembranas de última tecnología en áreas clave, como las bases de los taludes y las zonas en contacto directo con el agua, con el fin de evitar filtraciones que pudieran comprometer la estabilidad de la estructura. Las geomembranas son materiales sintéticos flexibles y resistentes, diseñados para formar barreras impermeables, lo que ayuda a preservar la integridad de los suelos y las estructuras circundantes. Además de su capacidad para impedir la infiltración de agua, las geomembranas también previenen la erosión causada por la constante circulación del agua a través de la presa, garantizando así la durabilidad del proyecto a largo plazo.

En cuanto a la estructura principal de la presa, se utilizó un concreto diseñado específicamente para soportar las tensiones y cargas extremas que generan las aguas represadas. Este concreto de alta resistencia no solo debía soportar las enormes fuerzas de compresión y tensión, sino que también tenía que ser resistente a los ciclos de congelación y descongelación, además de ser capaz de disipar el calor generado durante el proceso de fraguado, algo crucial para evitar la formación de grietas que pudieran poner en peligro la estructura. La implementación de sistemas de enfriamiento en el concreto, mediante la circulación de agua fría a través de tuberías embebidas, fue una solución clave para controlar el proceso de fraguado y garantizar una mayor durabilidad del material. Otro aspecto destacado en el diseño de la Presa de las Tres Gargantas fue el uso de materiales de revestimiento especializados en las compuertas y en los sistemas de desvío de agua. Dado que estas áreas están sujetas a un flujo de agua constante y a enormes presiones, se emplearon recubrimientos altamente resistentes al desgaste y a la abrasión. Estos recubrimientos no solo ayudan a proteger las estructuras metálicas y los componentes mecánicos,



sino que también mejoran su rendimiento a largo plazo, minimizando la necesidad de mantenimiento frecuente y reduciendo los costos operativos.

La importancia de este proyecto no solo radica en su capacidad para generar una inmensa cantidad de energía hidroeléctrica limpia, sino también en su impacto en la gestión de los recursos hídricos en China. La presa desempeña un papel fundamental en la regulación del caudal del río Yangtsé, ayudando a prevenir inundaciones que históricamente han devastado la región. Adicionalmente, la creación del embalse ha permitido mejorar la navegación a lo largo del río, facilitando el transporte de mercancías y promoviendo el desarrollo económico en las regiones circundantes. Este proyecto es un ejemplo sobresaliente de cómo los avances en materiales de construcción, ingeniería y tecnologías de revestimiento pueden superar los desafíos técnicos que presentan las mega estructuras hidráulicas. A lo largo de su construcción, la Presa de las Tres Gargantas ha establecido nuevos estándares en el uso de materiales innovadores que no solo optimizan el rendimiento de la infraestructura, sino que también garantizan su sostenibilidad y resistencia a largo plazo. El estudio de este caso ofrece lecciones valiosas para proyectos futuros de infraestructura a gran escala, particularmente en contextos donde la magnitud y las condiciones ambientales imponen desafíos similares. La implementación de tecnologías avanzadas de revestimiento y materiales de construcción de alta resistencia, junto con un enfoque integral en la sostenibilidad, marcan un precedente que otros grandes proyectos hidráulicos seguirán en el futuro. (Negre, 2007)

La Presa de las Tres Gargantas es importante no solo por ser la mayor planta hidroeléctrica del mundo, sino también por su impacto ambiental, social y económico. Ha reducido las emisiones de dióxido de carbono al generar energía limpia para millones de personas, contribuyendo a los esfuerzos de China por disminuir su dependencia de los combustibles fósiles. Al mismo tiempo, ha proporcionado un mayor control sobre los desastres naturales y ha mejorado el acceso al agua para diversas actividades productivas. Sin embargo, su construcción también ha generado controversias por los desplazamientos de personas y el impacto ambiental



en la región. Este caso es emblemático en el análisis de los desafíos y las oportunidades que presenta la construcción de mega estructuras en áreas de gran importancia ecológica y económica.

#### 4.6.8 Caso 8: Sistema Hidráulico del Río Támesis, Reino Unido

El sistema hidráulico del Río Támesis, ubicado en el Reino Unido, es una infraestructura crítica diseñada para proteger la ciudad de Londres y las áreas circundantes de las mareas altas y las inundaciones. La pieza central de este sistema es la Barrera del Támesis, inaugurada en 1984, que es una estructura móvil capaz de regular el flujo de agua y evitar que las mareas altas del Mar del Norte inunden la ciudad. A lo largo de las últimas décadas, ha sido activada en numerosas ocasiones para evitar catástrofes, y su eficacia ha sido reconocida globalmente. Este proyecto es un claro ejemplo de cómo las estructuras de control de inundaciones necesitan materiales de revestimiento altamente especializados que garanticen tanto la durabilidad como la funcionalidad de la infraestructura en entornos acuáticos desafiantes.

El diseño de la Barrera del Támesis se centró en la resistencia a las duras condiciones del entorno fluvial. Dado que está en contacto continuo con grandes volúmenes de agua, las estructuras de concreto y acero que componen la barrera se han sometido a un tratamiento cuidadoso para aumentar su resistencia a la abrasión, corrosión y erosión. El concreto utilizado en su construcción fue modificado con aditivos especiales que mejoran su durabilidad y resistencia al desgaste causado por la acción del agua, el flujo constante del río y los sedimentos que transporta. Esto es crucial, ya que la abrasión prolongada puede debilitar el concreto y comprometer la integridad de la estructura. Además, las superficies expuestas al agua, tanto dulce como salada, están revestidas con materiales impermeables diseñados para prevenir la infiltración de agua en los poros del concreto. Estos revestimientos no solo protegen el concreto de la penetración de humedad, que podría generar fisuras y fallos estructurales, sino que también evitan la corrosión de los elementos metálicos internos, como las barras de refuerzo y las compuertas de acero. En particular, se han utilizado pinturas y recubrimientos anticorrosivos avanzados para preservar la integridad de las compuertas móviles, que son fundamentales para el



funcionamiento operativo de la barrera. Estas compuertas, que pueden elevarse o bajarse según las condiciones de marea, deben mantenerse en perfecto estado operativo para garantizar que puedan actuar de inmediato en caso de una subida repentina del nivel del río.

Los materiales de revestimiento utilizados en este proyecto no se limitan únicamente a las compuertas y estructuras de concreto. También se han aplicado geomembranas y geotextiles en áreas clave, como los taludes y las barreras de contención, que protegen las riberas del río. Estas membranas sintéticas actúan como barreras impermeables que refuerzan la protección contra la erosión del suelo causada por el flujo constante de agua. La función de estos materiales es vital para mantener la estabilidad de las estructuras y prevenir el colapso o deslizamiento de las orillas, lo que podría comprometer la infraestructura. La importancia del sistema hidráulico del Río Támesis y de la Barrera del Támesis reside no solo en su capacidad para proteger Londres de las mareas y las inundaciones, sino también en el hecho de que representa una solución innovadora ante el desafío del cambio climático. A medida que el nivel del mar continúa aumentando y los eventos climáticos extremos se vuelven más frecuentes, la necesidad de infraestructuras de control de inundaciones robustas y eficientes es cada vez mayor. En este sentido, la Barrera del Támesis ha demostrado ser un modelo de éxito, y su enfoque en el uso de materiales avanzados de revestimiento ha sido clave para prolongar su vida útil y garantizar su efectividad a largo plazo. (Araque, 2016)

Este caso es de gran relevancia porque ofrece un ejemplo de cómo las tecnologías de revestimiento no solo protegen las infraestructuras, sino que también tienen un impacto directo en la seguridad de millones de personas. Londres, como una de las capitales más importantes y densamente pobladas del mundo, está en constante riesgo de inundaciones, y sin la barrera, los daños económicos, humanos y ambientales serían catastróficos. Además, el éxito de la Barrera del Támesis ha inspirado a otras ciudades costeras del mundo a considerar infraestructuras similares, adaptadas a sus propios contextos y desafíos climáticos.



El análisis de los ocho casos de estudio presentados, enfocados en los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas, revela una interrelación compleja entre la ingeniería de materiales y las necesidades específicas de cada proyecto. Los materiales de revestimiento en estas obras no solo desempeñan un papel esencial en la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras, sino que también contribuyen de manera significativa a la eficiencia operativa y la seguridad de las instalaciones. El análisis detallado de cada caso permite extraer lecciones fundamentales sobre cómo se seleccionan, implementan y optimizan los materiales de revestimiento en función de las condiciones ambientales, la escala del proyecto y las características del agua con la que interactúan.

El caso del Rompeolas de San Pedro, por ejemplo, destaca la importancia de los revestimientos de concreto y bloques de roca en la protección de las estructuras de defensa costera. En ambientes marítimos, el agua salina y las olas constantes representan un desafío significativo para la integridad de las infraestructuras. Los revestimientos utilizados en este tipo de estructuras están diseñados para resistir la abrasión mecánica provocada por el impacto continuo de las olas y la erosión causada por el agua salina. En este caso, los bloques de concretos prefabricados, que a menudo se combinan con bloques de roca natural, permiten una distribución eficaz de las fuerzas mecánicas y, al mismo tiempo, minimizan el desgaste a lo largo del tiempo. Además, los geotextiles utilizados bajo las capas de revestimiento permiten estabilizar el suelo y prevenir la erosión interna, lo que aumenta la vida útil de la estructura. El uso de estos materiales demuestra cómo los avances en el diseño y la fabricación de revestimientos han permitido optimizar la resistencia y la durabilidad de los rompeolas.

Por otro lado, en el Sistema Hidráulico de las Esclusas de Gatún del Canal de Panamá, los desafíos de corrosión y desgaste debido al contacto constante con agua salada y dulce resaltan la



necesidad de revestimientos anticorrosivos avanzados. El uso de recubrimientos metálicos y sintéticos, junto con la aplicación de tecnologías como la galvanización y las pinturas protectoras, ha sido fundamental para preservar las compuertas y las superficies internas de las esclusas. La alta humedad y las condiciones variables de pH del agua incrementan el riesgo de corrosión en estas infraestructuras, lo que hace que la selección de recubrimientos impermeables y anticorrosivos sea crucial para mantener su integridad estructural. Además, los geosintéticos y geomembranas, como se observa en la ampliación del canal, han permitido una protección adicional contra la infiltración de agua y la erosión, mejorando significativamente la eficiencia operativa.

En el Sistema Hidráulico del Río Támesis, se observa un enfoque similar en la aplicación de revestimientos especializados para proteger contra la corrosión y la abrasión. El concreto utilizado en la Barrera del Támesis fue tratado con aditivos para mejorar su resistencia, y se emplearon recubrimientos impermeables para evitar la penetración del agua y el desgaste prematuro. En este caso, se subraya la importancia de los materiales de revestimiento no solo para proteger la infraestructura, sino también para garantizar la seguridad de las poblaciones en riesgo de inundaciones. Las condiciones fluviales, combinadas con el potencial de eventos climáticos extremos, requieren un enfoque integral en la selección de materiales capaces de resistir tanto la acción constante del agua como las fuerzas mecánicas inducidas por el flujo.

Otro caso notable es la Presa de las Tres Gargantas, la planta hidroeléctrica más grande del mundo. Este proyecto involucra la selección y uso de materiales avanzados de revestimiento para controlar la erosión y prevenir filtraciones, lo que es fundamental en estructuras que manejan enormes volúmenes de agua. Las geomembranas empleadas en áreas críticas proporcionan una barrera efectiva contra la infiltración, lo que minimiza los riesgos de fallos estructurales. Además, el concreto de la presa fue diseñado específicamente para soportar las tensiones extremas generadas por el peso del agua, y el uso de aditivos especializados ha mejorado la capacidad del material para resistir tanto la compresión como el ataque químico del



agua. Este proyecto ilustra cómo los avances en la ciencia de los materiales han permitido a los ingenieros superar los desafíos de las mega estructuras hidráulicas, garantizando su funcionamiento a largo plazo.

En el caso de la Presa Itaipú, ubicada entre Brasil y Paraguay, se observa una aplicación similar de tecnologías de revestimiento avanzadas. La presa utiliza concreto de alta resistencia para soportar las presiones hidrostáticas generadas por el enorme volumen de agua que retiene, y se aplican recubrimientos poliméricos en áreas sujetas a altos niveles de abrasión. Estos recubrimientos son esenciales para evitar la erosión por el agua en movimiento, lo que a su vez prolonga la vida útil de la estructura. La importancia de la selección de materiales en Itaipú radica no solo en la magnitud del proyecto, sino también en su impacto regional en la generación de energía y la gestión de recursos hídricos. Las soluciones de revestimiento aplicadas han permitido a la presa mantener un funcionamiento óptimo en un entorno de gran estrés mecánico y químico.

En cuanto a la Central Hidroeléctrica de Belo Monte, este proyecto presenta retos únicos en términos de erosión y desgaste, especialmente en las áreas de desvío de agua. Los geosintéticos y geomembranas utilizadas en las áreas de taludes y canales han sido clave para controlar la erosión, permitiendo que las superficies de concreto permanezcan estables bajo el flujo constante del agua. Estas tecnologías no solo previenen fallos estructurales, sino que también reducen el impacto ambiental al evitar la pérdida de sedimentos hacia los ecosistemas circundantes. El uso de aditivos en el concreto, junto con recubrimientos impermeables, refuerza la capacidad de la estructura para soportar las tensiones generadas por el flujo de agua de alta velocidad.

En el caso del Muelle de la Dársena Norte, los revestimientos protectores aplicados a las estructuras metálicas, en combinación con el uso de geotextiles en áreas cercanas a la línea de agua, han permitido mejorar la durabilidad y reducir el mantenimiento de la infraestructura. Los materiales utilizados no solo proporcionan resistencia a la corrosión, sino que también ayudan a



distribuir las cargas mecánicas de manera más eficiente, protegiendo las áreas sometidas a mayores tensiones.

En conjunto, estos casos ofrecen un panorama claro sobre la evolución y el papel crucial que desempeñan los materiales de revestimiento en las obras hidráulicas modernas. Desde los geosintéticos hasta los recubrimientos anticorrosivos y los concretos especializados, cada uno de estos materiales ha sido cuidadosamente seleccionado para enfrentar las demandas particulares de cada proyecto. La ingeniería de materiales, en este contexto, no solo asegura la durabilidad de las estructuras, sino que también permite que estas infraestructuras funcionen de manera eficiente a lo largo del tiempo, minimizando costos de mantenimiento y garantizando la seguridad de las poblaciones y los recursos hídricos que protegen.

El análisis de los casos estudiados pone en evidencia la importancia crucial de los materiales de revestimiento en la ingeniería hidráulica contemporánea. Estos materiales, seleccionados meticulosamente para cada entorno y función, garantizan que las estructuras puedan resistir las condiciones extremas del agua, ya sea dulce o salina, estática o en movimiento. Además de proteger la infraestructura de la erosión y la corrosión, los revestimientos empleados en las obras hidráulicas extienden su vida útil y mejoran su sostenibilidad. En última instancia, los avances en esta área no solo permiten que las infraestructuras mantengan su integridad a lo largo del tiempo, sino que también protegen a las poblaciones y ecosistemas que dependen de ellas, consolidando el papel fundamental de los materiales de revestimiento en la ingeniería del agua.

#### 4.7 Capítulo 7: Comparación de Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas

En la construcción de obras hidráulicas, la selección de materiales de revestimiento es crucial para garantizar la durabilidad, eficiencia, y sostenibilidad de las estructuras. A continuación, se presenta una evaluación detallada de las ventajas y desventajas de los principales



materiales utilizados en revestimientos, considerando factores como durabilidad, costo, facilidad de instalación, e impacto ambiental.

#### 4.7.1 Concreto de Alto Rendimiento

**Durabilidad:** El concreto de alto rendimiento (CAR) es ampliamente reconocido por su durabilidad superior, lo que lo hace ideal para estructuras hidráulicas como presas y canales grandes. Este tipo de concreto tiene una alta resistencia a la compresión, lo que le permite soportar condiciones extremas y cargas pesadas durante largos periodos. Además, el CAR es resistente a la degradación causada por ciclos de congelación y descongelación, la acción de productos químicos agresivos, y la abrasión, lo que minimiza el desgaste y prolonga la vida útil de las estructuras construidas con él. Este nivel de durabilidad es crucial para mantener la integridad estructural de las obras hidráulicas, donde cualquier falla puede tener consecuencias graves.

**Costo:** Aunque el concreto de alto rendimiento tiene un costo inicial más alto que otros materiales de construcción, su durabilidad a largo plazo y su bajo requerimiento de mantenimiento lo convierten en una opción económicamente viable a largo plazo. La inversión inicial en CAR se justifica por la reducción de costos en reparaciones y mantenimiento a lo largo del tiempo. En proyectos donde la longevidad es una prioridad, el uso de CAR puede resultar en ahorros significativos, especialmente en obras hidráulicas que demandan estructuras robustas y de bajo mantenimiento.

**Facilidad de Instalación:** La instalación del concreto de alto rendimiento presenta desafíos, ya que requiere el uso de equipos pesados y mano de obra calificada. Esto es especialmente cierto en proyectos ubicados en áreas de difícil acceso o en estructuras de gran escala, donde la precisión es esencial. Sin embargo, a pesar de estas dificultades, las propiedades superiores del CAR, como su alta resistencia y durabilidad, compensan los desafíos logísticos y el costo de instalación.



**Impacto Ambiental:** El concreto, en general, tiene un impacto ambiental considerable debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción de cemento, uno de sus componentes principales. Este impacto es una preocupación creciente en la industria de la construcción. Sin embargo, se están desarrollando alternativas más sostenibles dentro del campo del CAR, como el uso de cementos bajos en carbono y la incorporación de materiales reciclados en la mezcla. Estas innovaciones están dirigidas a reducir el impacto ambiental del CAR, lo que es cada vez más importante en proyectos que buscan un equilibrio entre la durabilidad y la sostenibilidad ambiental. (Arabi N. S. Al Qadi., et al, 2015).

#### 4.7.2 Geomembranas

**Durabilidad:** Las geomembranas, especialmente las fabricadas con polietileno de alta densidad (HDPE), son reconocidas por su excepcional durabilidad y resistencia. Estas membranas son capaces de soportar la exposición prolongada a diversos agentes químicos, como ácidos y bases, sin sufrir deterioro significativo. Además, su alta resistencia a la penetración de agua las convierte en una solución ideal para la impermeabilización de canales, reservorios y otras infraestructuras hidráulicas. Las geomembranas de HDPE tienen una vida útil que puede superar los 30 años, dependiendo de las condiciones de exposición, lo que asegura la protección a largo plazo de las estructuras en las que se instalan.

**Costo:** Desde el punto de vista económico, las geomembranas son una opción rentable tanto en términos de costos iniciales como de mantenimiento. Comparadas con otros materiales de revestimiento, como el concreto, las geomembranas suelen ser más económicas debido a los menores costos de producción y a la reducción en los gastos asociados con la instalación. Además, el bajo mantenimiento requerido a lo largo de su vida útil contribuye a una reducción en los costos operativos, haciendo de las geomembranas una solución costo-efectiva en aplicaciones hidráulicas.



**Facilidad de Instalación:** Una de las principales ventajas de las geomembranas es su facilidad de instalación. Estas membranas pueden ser soldadas en el sitio, lo que permite adaptarlas a diferentes formas y tamaños de estructuras con relativa facilidad. Esto no solo reduce el tiempo de construcción, sino que también minimiza los errores en la instalación, lo que es crucial para asegurar la efectividad de la impermeabilización. La flexibilidad y adaptabilidad de las geomembranas las hacen ideales para su uso en una variedad de contextos, desde pequeñas piscinas hasta grandes reservorios.

**Impacto Ambiental:** Aunque las geomembranas son productos derivados del petróleo, lo que inicialmente podría sugerir un impacto ambiental negativo, existen formas de mitigar este impacto. Por ejemplo, el uso de geomembranas recicladas o diseñadas con un enfoque en la minimización del uso de materiales puede reducir su huella de carbono. Además, la larga vida útil de las geomembranas implica que no necesitan ser reemplazadas con frecuencia, lo que disminuye la cantidad de residuos generados. Por lo tanto, cuando se emplean con un enfoque sostenible, las geomembranas pueden ser una opción ambientalmente responsable para aplicaciones en obras hidráulicas. (Geosynthetics Magazine, 2015)

#### 4.7.3 Revestimientos Metálicos

**Durabilidad:** Los revestimientos metálicos, como el acero inoxidable, son ampliamente valorados por su excepcional durabilidad, especialmente en aplicaciones que enfrentan condiciones extremas. Estos revestimientos son altamente resistentes a la corrosión, lo que los hace ideales para su uso en estructuras expuestas a ambientes marinos, químicos o de alta humedad. Además, su resistencia a la abrasión los convierte en una opción excelente para compuertas, válvulas, y otros mecanismos de control de flujo que deben soportar un desgaste mecánico considerable. La longevidad de los revestimientos metálicos reduce la frecuencia de reparaciones y reemplazos, lo que contribuye a la fiabilidad de las infraestructuras hidráulicas a largo plazo.



**Costo:** El uso de revestimientos metálicos suele implicar un costo significativo tanto en materiales como en mano de obra. El acero inoxidable, en particular, es más caro que otros materiales debido a su composición y proceso de fabricación. Además, la instalación de estos revestimientos requiere personal altamente cualificado y el uso de equipos especializados, lo que incrementa los costos iniciales. Sin embargo, dada su durabilidad y resistencia a condiciones adversas, la inversión inicial puede ser rentable en proyectos donde la longevidad y el bajo mantenimiento son cruciales.

**Facilidad de Instalación:** La instalación de revestimientos metálicos es un proceso que requiere habilidades técnicas avanzadas y equipos especializados. La soldadura, corte y ajuste del metal deben realizarse con precisión para asegurar una cobertura uniforme y una integración adecuada con la estructura subyacente. Este proceso puede ser más complejo y llevar más tiempo que la instalación de otros materiales de revestimiento, lo que puede ser un factor limitante en proyectos con restricciones de tiempo o acceso difícil. Sin embargo, una vez instalados correctamente, los revestimientos metálicos ofrecen una protección robusta y duradera.

**Impacto Ambiental:** La producción de acero es intensiva en energía, lo que se traduce en una huella de carbono considerable. La extracción de materias primas, la fundición y el procesamiento del acero generan emisiones significativas de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes. No obstante, el acero es uno de los materiales más reciclables del mundo; su capacidad de ser reciclado infinitamente sin perder sus propiedades hace que la gestión adecuada de los residuos de acero pueda mitigar su impacto ambiental. Según la World Steel Association, aproximadamente el 85% del acero utilizado en la construcción se recicla al final de su vida útil, lo que contribuye a la sostenibilidad de este material. (World Steel Association, 2020).

#### 4.7.4 Geosintéticos

**Durabilidad:** Los geosintéticos, que abarcan una amplia gama de materiales como geotextiles, geomallas, geo compuestos y geomembranas, son conocidos por su notable



durabilidad en aplicaciones que requieren resistencia química, flexibilidad y estabilidad a largo plazo. Estos materiales están diseñados para soportar condiciones adversas, incluyendo exposición a productos químicos agresivos, fluctuaciones de temperatura y esfuerzos mecánicos. En aplicaciones como la estabilización de suelos, control de erosión e impermeabilización, los geosintéticos han demostrado ser efectivos durante décadas, manteniendo su integridad y funcionalidad sin necesidad de mantenimiento frecuente.

**Costos:** En términos de costo, los geosintéticos suelen ser más económicos que los materiales de construcción tradicionales. Su producción en masa y la eficiencia en su aplicación contribuyen a costos iniciales más bajos. Además, la facilidad de instalación y la reducción en el tiempo de construcción asociado a su uso pueden generar ahorros significativos en los proyectos. Los geosintéticos también pueden extender la vida útil de las infraestructuras, lo que a su vez minimiza los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo, consolidando su valor económico en el ciclo de vida de un proyecto.

**Facilidad de Instalación:** La facilidad de instalación es una de las principales ventajas de los geosintéticos. Estos materiales son ligeros y flexibles, lo que facilita su transporte e instalación en el sitio, incluso en áreas remotas o de difícil acceso. Su capacidad para ser desplegados rápidamente y su adaptabilidad a diferentes condiciones del terreno permiten una aplicación eficiente y efectiva. La instalación de geosintéticos requiere menos equipo pesado y mano de obra especializada en comparación con otros materiales, lo que reduce los tiempos de construcción y los costos asociados.

**Impacto Ambiental:** Aunque los geosintéticos son productos derivados del petróleo, su impacto ambiental puede ser mitigado por su durabilidad y la reducción de la necesidad de materiales de construcción más intensivos en recursos. La investigación en el desarrollo de geosintéticos biodegradables y la incorporación de materiales reciclados en su fabricación está en marcha, lo que podría reducir su huella ecológica en el futuro. El uso de geosintéticos también



contribuye a la sostenibilidad al mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción y al reducir la degradación del suelo y la pérdida de recursos hídricos. (Sun, X., & Han, J. 2019).

#### 4.7.5 Materiales Naturales (Piedras, Gravas)

**Durabilidad:** Los materiales naturales como piedras y gravas son reconocidos por su excelente durabilidad, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que se requiere una alta resistencia a la erosión y la abrasión. Estos materiales, debido a su origen natural, presentan una gran resistencia a los elementos y pueden perdurar durante siglos sin sufrir deterioro significativo. En estructuras hidráulicas como revestimientos de canales y ríos, las piedras y gravas actúan como una barrera física que protege contra la erosión, al tiempo que permiten el paso del agua sin causar daños estructurales. Además, su uso en obras hidráulicas ofrece un rendimiento fiable en condiciones extremas, ya que no se ven afectados por factores como la radiación ultravioleta o productos químicos que podrían degradar otros materiales.

**Costo:** En términos de costo, los materiales naturales como piedras y gravas suelen ser una opción económica, especialmente si se encuentran disponibles localmente. Esto reduce significativamente los costos asociados al transporte, que es uno de los mayores gastos en proyectos de construcción. La disponibilidad local también puede agilizar los tiempos de proyecto, ya que se eliminan las demoras en el suministro de materiales. Sin embargo, es importante considerar que, en regiones donde estos recursos son escasos, los costos pueden aumentar debido a la necesidad de transporte desde lugares más distantes.

**Facilidad de Instalación:** La facilidad de instalación de materiales naturales puede ser variable. Mientras que la colocación de piedras y gravas no requiere de tecnología avanzada, el proceso puede ser laborioso, especialmente cuando se utilizan grandes cantidades. La colocación manual o mediante maquinaria simple, como excavadoras, es común, pero en proyectos de gran envergadura, la instalación puede requerir una planificación cuidadosa para garantizar que los materiales se distribuyan uniformemente y cumplan con los requisitos del diseño. Además, la



instalación debe llevarse a cabo con precisión para maximizar la estabilidad estructural y evitar problemas como el desplazamiento de las piedras bajo el flujo de agua.

**Impacto Ambiental:** El impacto ambiental de utilizar materiales naturales depende en gran medida de cómo se extraen y procesan. Cuando estos materiales se obtienen de manera sostenible, su impacto puede ser relativamente bajo, ya que no requieren procesos industriales intensivos y, en muchos casos, su extracción tiene un efecto limitado en el entorno local. Sin embargo, la extracción descontrolada de piedras y gravas puede provocar daños ambientales significativos, como la destrucción de hábitats, la alteración de cursos de agua y la degradación del paisaje. Por esta razón, es crucial que la obtención de estos materiales se realice con prácticas de gestión sostenible que minimicen su huella ecológica. (Petry, T. M., & Little, D. N. 2002).

#### **4.8 Tendencias Actuales: Innovaciones y Nuevos Desarrollos en Materiales de Revestimiento para Obras Hidráulicas**

El campo de los materiales de revestimiento para obras hidráulicas ha experimentado importantes avances en los últimos años. Estos desarrollos responden a la necesidad de mejorar la durabilidad, reducir el impacto ambiental, y optimizar los costos asociados con la construcción y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas. A continuación, se detallan algunas de las tendencias e innovaciones más destacadas:

##### **4.8.1 Nanotecnología Aplicada a Materiales de Revestimiento**

La nanotecnología está transformando la industria de la construcción, y su aplicación en materiales de revestimiento para estructuras hidráulicas es un área de innovación con un enorme potencial. Uno de los principales beneficios de incorporar nanotecnología en estos materiales es la mejora sustancial de sus propiedades mecánicas y químicas. Por ejemplo, la adición de nanopartículas en el concreto puede aumentar significativamente su resistencia a la compresión, lo que es crucial para soportar las grandes presiones en obras hidráulicas como presas y canales. Las nanopartículas, como las de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), actúan como agentes de relleno a nivel molecular, reduciendo la porosidad y, por ende, la permeabilidad al



agua del concreto. Esto no solo aumenta la durabilidad del material, sino que también mejora su capacidad para resistir la corrosión y la abrasión, factores críticos en ambientes expuestos a condiciones adversas y ataques químicos y tecnología permite el desarrollo de revestimientos con capacidades auto-reparadoras. Estos materiales contienen cápsulas nanométricas que liberan agentes reparadores cuando se detecta una grieta o daño en la estructura. Este mecanismo de auto reparación puede extender significativamente la vida útil de las estructuras hidráulicas, reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando la seguridad operativa. En aplicaciones prácticas, los nano recubrimientos también pueden ofrecer propiedades adicionales, como hidrofobicidad y resistencia a los rayos UV, que son esenciales para proteger las infraestructuras hidráulicas de la degradación ambiental.

La integración de tecnología en geosintéticos también ha mostrado resultados prometedores. Estos materiales, cuando están reforzados con nanopartículas, presentan una mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos y una mejora en sus propiedades de barrera frente a la filtración de líquidos. Esto es particularmente útil en la contención de suelos y la impermeabilización de canales y reservorios, donde la durabilidad y la eficacia son fundamentales. Además, los nanocompuestos en geosintéticos pueden ser diseñados para tener propiedades antimicrobianas, lo que previene el crecimiento de organismos que podrían comprometer la integridad del material. (Utsev, T. et al, 2022b).

#### 4.8.2 Materiales de Revestimiento Sostenibles

La investigación sobre materiales de revestimiento sostenibles está en constante evolución, impulsada por la necesidad de reducir el impacto ambiental de las construcciones hidráulicas y mejorar la eficiencia de los recursos. Los materiales reciclados y sostenibles han comenzado a jugar un papel fundamental en esta transformación. Por ejemplo, el uso de residuos industriales en la producción de geosintéticos ha demostrado ser una opción viable y eficaz, reduciendo la dependencia de materiales vírgenes y minimizando el impacto ambiental global.



Además, los concretos especiales desarrollados con agregados reciclados y cementos de bajo carbono son otra área de interés, ya que permiten reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción. Estos concretos no solo mantienen propiedades mecánicas comparables a las de los concretos convencionales, sino que también ofrecen ventajas adicionales en términos de durabilidad y resistencia a la corrosión, lo que es crucial para las estructuras hidráulicas expuestas a ambientes agresivos.

La bioingeniería también está ganando popularidad en el diseño de materiales de revestimiento. El desarrollo de biopolímeros y otros materiales biodegradables está proporcionando nuevas soluciones para infraestructuras que requieren un enfoque más sostenible. Estos materiales no solo se descomponen sin dejar residuos tóxicos, sino que también pueden ser más económicos y accesibles, especialmente en regiones rurales o con recursos limitados.

Un ejemplo relevante es la investigación llevada a cabo por Schmidt et al. (2021), que explora el uso de biopolímeros en aplicaciones de ingeniería civil. Esta investigación destaca cómo estos materiales pueden integrarse en proyectos de infraestructura para reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad a largo plazo. Además, se están desarrollando enfoques para el reciclaje de materiales de construcción y su reutilización en nuevas aplicaciones, lo que contribuye a un ciclo de vida más sostenible para las infraestructuras. (Aytakin, B., & Mardani-Aghabaglou, A. 2022).

#### 4.8.3 Geocompuestos Avanzados

Los geos compuestos avanzados representan una evolución significativa en la tecnología de materiales de revestimiento para infraestructuras hidráulicas. Estos materiales combinan varias capas de geosintéticos, como geotextiles, geomallas, y geomembranas, para mejorar sus propiedades mecánicas y funcionales. Uno de los desarrollos más recientes en este campo es el uso de geo compuestos reforzados con fibras. Estas fibras, que pueden ser de vidrio, poliéster o



polipropileno, se integran en la estructura del geo compuesto para aumentar su resistencia a la tracción y durabilidad.

Los geos compuestos reforzados con fibras son particularmente útiles en aplicaciones donde las condiciones son extremas, como en zonas con alta presión hidráulica o en terrenos inestables. Estos materiales no solo ofrecen una mayor resistencia al estrés mecánico, sino que también son más duraderos en ambientes donde la erosión o la corrosión pueden ser problemáticas.

Además, la versatilidad de los geos compuestos avanzados les permite adaptarse a diversas formas y tamaños, lo que los convierte en una solución eficaz y flexible para diferentes tipos de proyectos de infraestructura hidráulica. Por ejemplo, se pueden utilizar en revestimientos de canales, muros de contención, y sistemas de drenaje, donde se requiere una combinación de impermeabilidad y resistencia estructural.

El uso de estos geos compuestos ha demostrado ser efectivo en la reducción de costos a largo plazo, ya que su durabilidad reduce la necesidad de reparaciones frecuentes. Además, al ser materiales relativamente livianos y fáciles de instalar, también contribuyen a acelerar los tiempos de construcción y a minimizar los costos de transporte y mano de obra. (Wu, H., et al, 2014).

#### 4.8.4 Revestimientos Inteligentes

Los revestimientos inteligentes están emergiendo como una tecnología avanzada y prometedora para la protección de infraestructuras hidráulicas, ofreciendo la capacidad única de responder de manera activa a las condiciones ambientales y operativas. Estos materiales han sido diseñados para reaccionar ante cambios en el entorno, como variaciones en la temperatura, presión o la presencia de sustancias químicas. Por ejemplo, algunos revestimientos incluyen sensores embebidos que detectan cambios en la presión o exposición a químicos agresivos, liberando inhibidores de corrosión de manera controlada para proteger la estructura subyacente.



Esta capacidad proactiva no solo ayuda a prevenir daños, sino que también extiende la vida útil de las infraestructuras al facilitar el mantenimiento preventivo.

Además, los revestimientos inteligentes están equipados con pigmentos especiales que cambian de color para indicar daños o degradación. Este cambio de color sirve como un indicador visual inmediato, simplificando las inspecciones y permitiendo intervenciones rápidas para evitar fallos catastróficos. Este enfoque no solo mejora la seguridad de las estructuras, sino que también reduce significativamente los costos de mantenimiento a largo plazo.

La aplicación de revestimientos inteligentes se está extendiendo a una amplia gama de infraestructuras, incluyendo presas, canales, sistemas de tuberías, y túneles, especialmente en ambientes donde las condiciones son agresivas y el acceso para mantenimiento es limitado. Sin embargo, el desarrollo y la implementación de estos materiales también presentan desafíos, como el costo inicial y la necesidad de establecer estándares específicos para su uso y evaluación.

Actualmente, la investigación continúa avanzando en el campo de los revestimientos inteligentes, con un enfoque particular en la nano ingeniería para mejorar su precisión y eficacia. Se están explorando combinaciones de materiales avanzados, como nanotubos de carbono y partículas de óxido de grafeno, que prometen una mayor capacidad de autodiagnóstico y autor reparación. Estos desarrollos indican que los revestimientos inteligentes no solo representan una solución innovadora para la protección de infraestructuras hidráulicas, sino que también tienen el potencial de transformar la forma en que se aborda el mantenimiento y la durabilidad de estas estructuras críticas. (Montemor, M. F. 2014).

#### 4.8.5 Aplicación de Tecnologías de Fabricación Aditiva

La fabricación aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D, está transformando la producción de materiales de revestimiento en el ámbito de la ingeniería hidráulica. Esta tecnología innovadora permite la creación de estructuras con geometrías complejas, que serían inviables o extremadamente costosas de fabricar mediante métodos tradicionales. Gracias a la



capacidad de imprimir en 3D, es posible diseñar revestimientos que se adapten específicamente a las necesidades de cada proyecto, optimizando la eficiencia y el rendimiento de las estructuras hidráulicas.

Una de las ventajas clave de la impresión 3D es la posibilidad de utilizar materiales compuestos avanzados, como mezclas de polímeros y fibras, que ofrecen una combinación superior de resistencia, flexibilidad y durabilidad. Estos materiales pueden ser diseñados para resistir condiciones ambientales extremas, como alta presión hidráulica o exposición a sustancias químicas corrosivas, lo que los convierte en una opción ideal para revestimientos en presas, canales, y tuberías. Además, la integración de tecnologías de monitoreo embebidas en los materiales impresos en 3D permite un seguimiento continuo del estado de la infraestructura, facilitando el mantenimiento predictivo y la prolongación de la vida útil de las estructuras.

La impresión 3D también ofrece beneficios significativos en términos de sostenibilidad y eficiencia. Al permitir la fabricación de estructuras precisas y personalizadas, se minimizan los residuos materiales, lo que reduce el impacto ambiental de los proyectos de construcción. Asimismo, el proceso de construcción es más rápido y preciso en comparación con los métodos convencionales, lo que reduce tanto los costos como los tiempos de ejecución.

Sin embargo, la adopción generalizada de la impresión 3D en la ingeniería hidráulica todavía enfrenta algunos desafíos, como el costo inicial de la tecnología y la necesidad de desarrollar estándares específicos para garantizar la calidad y seguridad de las estructuras impresas. A medida que la tecnología evoluciona y se vuelve más accesible, es probable que veamos una expansión significativa en su uso para la fabricación de revestimientos y otras aplicaciones en infraestructura. (Buswell et al., 2018).

#### 4.8.6 Desarrollo de Membranas Multifuncionales

El desarrollo de membranas multifuncionales representa un avance significativo en la protección y durabilidad de infraestructuras hidráulicas, especialmente en entornos donde las



condiciones operativas son particularmente exigentes. Estas membranas están diseñadas para cumplir múltiples funciones simultáneamente, lo que las convierte en soluciones altamente eficientes y versátiles. La construcción de estas membranas involucra la integración de diferentes capas de materiales, cada una optimizada para un propósito específico. Por ejemplo, una membrana multifuncional puede combinar una capa externa resistente a la abrasión con una capa interna que ofrece una impermeabilidad excepcional, lo que garantiza tanto la protección física como la funcionalidad duradera en un solo producto.

Este enfoque multifuncional es especialmente valioso en aplicaciones críticas, como túneles subterráneos y presas, donde la infraestructura está sometida a tensiones mecánicas, químicas y ambientales extremas. En estos contextos, la capacidad de una membrana para resistir la erosión, bloquear la infiltración de agua y soportar la exposición a productos químicos agresivos es crucial para la longevidad y la seguridad de la estructura. Además, las membranas multifuncionales pueden reducir la necesidad de mantenimiento frecuente, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y menores costos a largo plazo.

El desarrollo y la implementación de estas membranas también están impulsados por avances en la ciencia de materiales y la ingeniería química, lo que ha permitido la creación de combinaciones de materiales cada vez más sofisticadas y eficaces. La investigación en este campo sigue evolucionando, con un enfoque en mejorar aún más las propiedades de las membranas, como su flexibilidad, resistencia térmica y capacidad de autodiagnóstico para detectar daños o desgaste. (Zhao, S., & Shen, L, 2020).

## 5. Discusión

### 5.1 Reflexión sobre lo que los Resultados Indican en el Contexto de la Ingeniería Civil

El capítulo 1, titulado "Introducción a las Obras Hidráulicas y los Materiales de Revestimiento", se establece el fundamento teórico y técnico que subyace en toda la monografía.



Este capítulo introduce los conceptos clave en la ingeniería hidráulica, específicamente la relevancia de las obras hidráulicas en la gestión de los recursos hídricos y el papel crucial que desempeñan los materiales de revestimiento en la durabilidad y eficiencia de estas estructuras.

Una de las discusiones más importantes de este capítulo es la vinculación entre las diferentes tipologías de obras hidráulicas (presas, canales, túneles, diques, etc.) y los desafíos que presentan en términos de contacto directo con el agua, su abrasión y el desgaste por fenómenos naturales. La selección adecuada de materiales para revestimientos no solo es una cuestión de durabilidad, sino también de eficiencia en la operación y seguridad estructural. Los revestimientos deben garantizar la impermeabilización, la protección contra la erosión y la estabilidad geotécnica de la infraestructura hidráulica, aspectos que fueron planteados desde el inicio como esenciales para cualquier análisis ingenieril riguroso. El capítulo también introduce una primera mirada a las normativas y estándares que regulan la selección de estos materiales. Esta introducción es clave, ya que las normativas, como las especificaciones de organismos internacionales o regulaciones locales, guían las decisiones de diseño e instalación de revestimientos en función de las condiciones ambientales, la presión hidrostática y otros factores críticos. Desde esta perspectiva, se puede argumentar que el capítulo actúa como un puente entre los principios generales de la ingeniería civil y los desafíos específicos que enfrentan las obras hidráulicas, estableciendo las bases para profundizar en los aspectos técnicos en los capítulos posteriores.

El capítulo 2, titulado "Materiales de Revestimiento", es clave en el desarrollo de la monografía, ya que establece las bases sobre las cuales se construye el análisis técnico de las obras hidráulicas en los capítulos posteriores. Este capítulo abarca las propiedades y aplicaciones de los materiales que se utilizan para proteger, impermeabilizar y extender la vida útil de las infraestructuras hidráulicas, y proporciona una visión detallada de la ingeniería detrás de su selección y uso.



Desde una perspectiva ingenieril, este capítulo tiene una importancia crítica, ya que los materiales de revestimiento juegan un papel fundamental en la estabilidad, funcionalidad y durabilidad de las obras hidráulicas. La discusión de este capítulo se centra en el análisis detallado de los materiales más comúnmente utilizados, como el concreto, los recubrimientos poliméricos, los geosintéticos y las geomembranas, cada uno con sus respectivas propiedades físicas y mecánicas. Estos materiales se seleccionan en función de factores como la resistencia al agua, la capacidad de soportar fuerzas de compresión y tensión, y su durabilidad frente a la abrasión y la corrosión. Uno de los puntos centrales de la discusión es la capacidad de estos materiales para hacer frente a los entornos desafiantes en los que se utilizan. Por ejemplo, en estructuras expuestas a agua salina, como los diques costeros o las esclusas de los canales, los materiales de revestimiento deben tener una alta resistencia a la corrosión, lo que a menudo requiere el uso de revestimientos poliméricos o tratamientos especiales del concreto. Esto subraya la importancia de seleccionar materiales que no solo cumplan con los requisitos estructurales, sino que también resistan los procesos de deterioro causados por la exposición a agentes agresivos, como la sal, el agua o los ciclos de congelación y deshielo.

El capítulo también aborda el papel crítico de los avances tecnológicos en la evolución de los materiales de revestimiento. Un ejemplo importante de esto es el desarrollo de geosintéticos y geomembranas, que han revolucionado la forma en que se protegen y refuerzan las estructuras hidráulicas. Estos materiales han demostrado ser altamente efectivos en la prevención de filtraciones, la estabilización de suelos y la mitigación de los efectos erosivos del agua. Además, su uso ha permitido una mayor flexibilidad en el diseño y la construcción de obras hidráulicas, especialmente en entornos donde las condiciones del suelo o del agua presentan desafíos únicos.

Un aspecto fundamental en la discusión es la interrelación entre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de revestimiento y las exigencias estructurales de las obras hidráulicas. El concreto, por ejemplo, sigue siendo el material más utilizado en este tipo de obras debido a su capacidad para soportar grandes fuerzas de compresión. Sin embargo, en muchas



aplicaciones, es necesario mejorar sus propiedades mediante la incorporación de aditivos o tratamientos superficiales, como el uso de revestimientos impermeables para aumentar su resistencia a la penetración del agua. Este tipo de intervenciones son fundamentales para garantizar que la estructura mantenga su integridad a largo plazo, minimizando la necesidad de mantenimiento y reduciendo los costos operativos.

La discusión de este capítulo también resalta la importancia de la sostenibilidad en la selección de materiales de revestimiento. A medida que las obras hidráulicas se diseñan para tener una vida útil prolongada, es crucial considerar no solo las propiedades técnicas de los materiales, sino también su impacto ambiental. Los avances en materiales reciclados y la utilización de compuestos más ecológicos están comenzando a desempeñar un papel importante en la ingeniería hidráulica, lo que refleja un cambio en la forma en que se planifican y ejecutan estos proyectos.

El capítulo 3, titulado "Clasificación de los Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas", es clave para comprender las diferentes categorías de materiales que se emplean en este tipo de proyectos y cómo sus propiedades específicas los hacen adecuados para diversas aplicaciones en infraestructuras hidráulicas. La clasificación de estos materiales permite un análisis detallado de sus características técnicas y su comportamiento en entornos específicos, lo que ayuda a los ingenieros a seleccionar las opciones más eficientes y rentables para cada obra en particular. Desde una perspectiva ingenieril, la clasificación de los materiales de revestimiento está directamente relacionada con las exigencias mecánicas y ambientales a las que se enfrenta una estructura hidráulica. El capítulo 3 aborda esta clasificación con base en diversos criterios: su naturaleza química (orgánicos e inorgánicos), su origen (naturales o sintéticos), y su función dentro de las obras (materiales de protección, impermeabilización, y estructurales). Este enfoque sistemático no solo facilita la elección del material adecuado, sino que también ayuda a optimizar el desempeño general de la estructura a lo largo de su vida útil.



Uno de los puntos importantes en la discusión es la distinción entre los materiales inorgánicos, como el concreto y la piedra, que son ampliamente utilizados por su capacidad para soportar grandes fuerzas de compresión y resistir el desgaste físico, y los materiales orgánicos o sintéticos, como los geosintéticos y las membranas impermeables, que han ganado relevancia en los últimos años debido a su versatilidad, resistencia química y facilidad de instalación. Esta clasificación permite a los ingenieros decidir qué tipo de material es más apropiado dependiendo del entorno de aplicación, ya sea para resistir la erosión o para proporcionar una barrera impermeable en situaciones de alta exposición a líquidos.

Otro aspecto clave de la discusión es el análisis de los materiales compuestos, que combinan las ventajas de diferentes tipos de materiales para proporcionar un rendimiento superior. Por ejemplo, los recubrimientos poliméricos se pueden utilizar junto con concretos de alta resistencia para proteger áreas expuestas a la abrasión, sin comprometer la integridad estructural de la obra. Este tipo de materiales compuestos está diseñado específicamente para situaciones donde los materiales convencionales no pueden satisfacer completamente los requisitos técnicos.

El capítulo 3 también aborda la clasificación de los geosintéticos, materiales que se han convertido en esenciales en las obras hidráulicas modernas. Los geotextiles, geomembranas y geoceldas proporcionan soluciones de refuerzo, drenaje y protección contra la erosión, y su uso ha permitido un mejor control de las filtraciones y la estabilidad de los suelos en presas, canales y diques. Estos materiales, al ser ligeros y flexibles, permiten una rápida instalación y adaptación a diversas condiciones geotécnicas, lo que los hace preferibles en muchos proyectos modernos.

Una parte fundamental del análisis es la comparación de las ventajas y limitaciones de cada grupo de materiales. Los materiales tradicionales, como el concreto y la piedra, aunque altamente resistentes, presentan desafíos en términos de mantenimiento, especialmente en ambientes agresivos donde están expuestos a sustancias corrosivas o abrasivas. En contraste, los



materiales sintéticos y avanzados, como los recubrimientos poliméricos o las geomembranas, aunque ofrecen una mayor resistencia a la corrosión y a la abrasión, a veces pueden tener una vida útil más corta o requerir un mantenimiento especializado, lo que debe considerarse en el análisis de costos a largo plazo.

La importancia de esta clasificación radica en que proporciona un marco de referencia claro para la selección de materiales en función de las condiciones específicas de cada obra hidráulica. Cada material tiene propiedades únicas que influyen en su rendimiento frente a fuerzas externas, como el empuje hidrostático, la erosión, la exposición a químicos o la abrasión causada por el flujo constante de agua. Por tanto, la correcta clasificación y elección de los materiales de revestimiento es esencial para garantizar no solo la estabilidad y la seguridad de la infraestructura, sino también su eficiencia operativa y su viabilidad económica a largo plazo.

El Capítulo 4 “Propiedades Físicas y Mecánicas de los Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas” es clave, ya que aborda aspectos fundamentales que determinan el rendimiento y la durabilidad de estos materiales en condiciones exigentes. Desde el punto de vista ingenieril, este análisis no solo implica la comprensión de las propiedades inherentes de los materiales, sino también cómo estas propiedades influyen en su comportamiento bajo las tensiones, presiones y factores ambientales típicos de las obras hidráulicas. El capítulo examina dos categorías principales de propiedades: físicas y mecánicas. Las propiedades físicas, como la densidad, la porosidad y la absorción de agua, son determinantes en la resistencia de los materiales a la erosión y su capacidad para actuar como barreras impermeables. La densidad, por ejemplo, es una propiedad crítica cuando se evalúan materiales como el concreto y la piedra, ya que una mayor densidad tiende a correlacionarse con una mejor resistencia a la penetración del agua, lo que resulta fundamental para evitar filtraciones que puedan comprometer la estabilidad estructural.



Por otro lado, la porosidad está estrechamente relacionada con la absorción de agua, una propiedad que afecta directamente la durabilidad de los materiales, especialmente en climas donde las variaciones de temperatura pueden inducir ciclos de congelación y descongelación. Estos ciclos generan tensiones internas que pueden llevar al agrietamiento y eventual degradación del material. En este sentido, los revestimientos impermeables y los recubrimientos de baja porosidad, como las geomembranas, resultan esenciales para minimizar los efectos adversos de la absorción de agua y proteger la integridad estructural de presas, canales y diques. En cuanto a las propiedades mecánicas, el capítulo destaca la resistencia a la compresión, flexión y tracción como factores determinantes para evaluar la capacidad de los materiales de revestimiento en soportar las cargas hidrostáticas y mecánicas a las que están sometidos. El concreto, por ejemplo, es conocido por su alta resistencia a la compresión, lo que lo hace ideal para soportar el peso del agua embalsada en una presa o las fuerzas generadas por el flujo de un canal. Sin embargo, su baja resistencia a la tracción y la flexión requiere la adición de refuerzos, como barras de acero o fibras sintéticas, para evitar fallos estructurales en situaciones de estrés mecánico elevado.

Otro aspecto mecánico relevante es la resistencia al desgaste y la abrasión, especialmente en áreas donde el flujo constante de agua cargada con sedimentos o partículas puede erosionar gradualmente los materiales. En este contexto, los recubrimientos poliméricos y los materiales compuestos han demostrado ser especialmente efectivos, gracias a su capacidad para resistir el desgaste prolongado sin comprometer la integridad estructural del sistema.

El capítulo también subraya la importancia de la durabilidad de los materiales de revestimiento. La durabilidad está intrínsecamente ligada a las propiedades físico-mecánicas, pero también depende de factores externos, como las condiciones ambientales y la agresividad química del entorno. En obras hidráulicas, donde los materiales están expuestos a agua con diferentes grados de salinidad, pH y contenido de minerales, la resistencia a la corrosión se vuelve un criterio de selección crítico. Aquí es donde los materiales compuestos y los recubrimientos especializados, como los anticorrosivos y los tratamientos superficiales, juegan un



papel esencial para prolongar la vida útil de la estructura. Un tema particularmente interesante es cómo las propiedades térmicas de los materiales, aunque menos discutidas en la ingeniería convencional, pueden afectar su desempeño en obras hidráulicas. Los cambios de temperatura pueden inducir dilataciones y contracciones en los materiales, lo que genera tensiones adicionales. En climas extremos, la resistencia de un material a la expansión térmica o la contracción puede influir significativamente en su longevidad. De hecho, materiales como los geosintéticos o ciertos compuestos poliméricos están diseñados para mantener la estabilidad dimensional incluso bajo grandes fluctuaciones de temperatura, lo que los convierte en alternativas viables en situaciones donde se esperan variaciones térmicas.

La discusión del capítulo 4 también toca la importancia de los aditivos y tratamientos aplicados a los materiales para mejorar sus propiedades físico-mecánicas. El uso de aditivos como los superplastificantes en el concreto mejora no solo su trabajabilidad durante el proceso de colocación, sino que también incrementa su resistencia final, su durabilidad y su impermeabilidad. Los recubrimientos protectores aplicados sobre la superficie de los materiales, como las resinas epoxi o los revestimientos de poliuretano, son esenciales para proteger las superficies expuestas a condiciones extremas de abrasión, químicos o contacto prolongado con el agua.

Es necesario resaltar que todas estas propiedades físico-mecánicas deben ser consideradas en conjunto y no de manera aislada, ya que el comportamiento global de una estructura hidráulica depende de cómo estos materiales interactúan con el entorno y entre sí. Un material puede tener una alta resistencia a la compresión, pero si su durabilidad en ambientes agresivos es limitada, su rendimiento a largo plazo será comprometido. Por lo tanto, la selección de los materiales de revestimiento debe ser un proceso multidimensional, que integre no solo las propiedades técnicas del material, sino también las características específicas del entorno de aplicación, las exigencias operativas de la infraestructura, y los costos asociados al mantenimiento y la reposición.



El Capítulo 5 “Normativas y Estándares Aplicables en la Selección y Uso de Materiales de Revestimiento en Obras Hidráulicas” se centra en la importancia de seguir marcos regulatorios y directrices técnicas en la elección y aplicación de materiales de revestimiento. Este capítulo es clave porque la calidad, durabilidad y seguridad de las infraestructuras hidráulicas dependen, en gran medida, del cumplimiento de normas estrictas, tanto nacionales como internacionales. La ingeniería civil, especialmente en el contexto de obras hidráulicas, está intrínsecamente vinculada a la regulación. Esto se debe a que estas infraestructuras deben garantizar un funcionamiento seguro y eficiente durante su vida útil, minimizando el riesgo de fallos estructurales y protegiendo tanto a las personas como al entorno natural. Los materiales de revestimiento juegan un papel crucial en este sentido, y las normativas garantizan que los materiales seleccionados sean adecuados para las condiciones a las que serán sometidos.

En la discusión de este capítulo, se aborda en primer lugar la importancia de normas internacionales como las del ASTM (American Society for Testing and Materials) y las directrices de ISO (Organización Internacional de Normalización), que proporcionan estándares rigurosos para los ensayos de materiales de construcción, entre ellos los revestimientos utilizados en obras hidráulicas. Estas normativas cubren aspectos como la resistencia al desgaste, a la corrosión, a la abrasión y a la compresión, y establecen criterios para la clasificación de materiales en función de su desempeño bajo condiciones operativas específicas.

Uno de los puntos críticos discutidos en este capítulo es la homologación de materiales, que se refiere al proceso mediante el cual un material es evaluado y certificado para cumplir con los estándares aplicables antes de su uso en una obra hidráulica. Este proceso asegura que los materiales de revestimiento puedan soportar las condiciones extremas de presión, humedad y erosión a las que serán expuestos. Por ejemplo, la selección de geomembranas impermeabilizantes o de recubrimientos poliméricos en presas y canales debe cumplir con normativas específicas que aseguran su durabilidad y efectividad a largo plazo. Además, las normativas no solo se enfocan en las propiedades físico-mecánicas de los materiales, sino



también en la compatibilidad ambiental. En obras hidráulicas, los revestimientos deben cumplir con regulaciones ambientales que eviten la contaminación de los cuerpos de agua o la liberación de sustancias tóxicas. Las normativas europeas, como las de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, y los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, son ejemplos de marcos regulatorios que aseguran que los materiales utilizados en obras hidráulicas no impacten negativamente en los ecosistemas acuáticos.

El capítulo también discute las normas específicas nacionales, como las de Colombia y otros países latinoamericanos, que adaptan los estándares internacionales a las condiciones locales. En este sentido, la Norma Técnica Colombiana (NTC) y las normativas específicas para presas y canales establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) son esenciales para garantizar que las obras hidráulicas en el país cumplan con los estándares adecuados de calidad y seguridad. Estas normativas locales no solo regulan la selección de los materiales de revestimiento, sino también los procedimientos de instalación y las inspecciones periódicas necesarias para mantener la infraestructura en condiciones óptimas.

Otro punto relevante es cómo las normativas abordan el mantenimiento y las inspecciones periódicas de las infraestructuras hidráulicas. Las regulaciones obligan a realizar evaluaciones periódicas para verificar que los revestimientos continúan funcionando adecuadamente y que no han sufrido deterioro debido a condiciones ambientales adversas o a la exposición prolongada al agua y otros elementos. En particular, las normativas exigen que se realicen pruebas de desgaste y resistencia en los materiales, lo que permite anticipar posibles fallos y planificar las reparaciones antes de que ocurran problemas graves. Es importante resaltar que las normativas y estándares también juegan un papel en la innovación de materiales. Los avances en la ingeniería de materiales, como la introducción de composites, polímeros avanzados y nanomateriales, están moldeados por la necesidad de cumplir con regulaciones cada vez más estrictas. Esto impulsa a las empresas y a los ingenieros a desarrollar revestimientos que no solo cumplan con los requisitos actuales, sino que también anticipen futuras normativas más rigurosas.



El Capítulo 6 “Revisión de Casos de Estudio (Análisis de Proyectos Reales)” es fundamental para consolidar el entendimiento de cómo los materiales de revestimiento se aplican en diversas obras hidráulicas y cómo la teoría se materializa en proyectos a gran escala. Este capítulo no solo aborda la aplicación de las tecnologías y materiales previamente descritos, sino que también resalta las lecciones aprendidas, las soluciones ingenieriles adoptadas y los desafíos que surgen en diferentes contextos geográficos y operativos. El análisis de los ocho casos de estudio seleccionados presenta una visión amplia y detallada de cómo los principios teóricos de selección de materiales y normativas se enfrentan a condiciones específicas del entorno. A través de estos ejemplos, se puede observar que, aunque los materiales de revestimiento juegan un rol esencial en la protección y durabilidad de las infraestructuras hidráulicas, las soluciones aplicadas deben adaptarse a las particularidades de cada proyecto, como el tipo de agua, las fuerzas hidrodinámicas, la localización geográfica y los requerimientos de mantenimiento.

El análisis de la Presa Itaipú (Caso 5) y la Presa de las Tres Gargantas (Caso 7) refleja la magnitud de las presiones hidrostáticas a las que están sometidas las megaestructuras hidroeléctricas. En ambos casos, la elección del concreto de alta resistencia y las tecnologías de recubrimiento avanzadas no solo se basaron en las exigencias operacionales, sino también en las normativas internacionales que regulan la durabilidad y seguridad de este tipo de estructuras. Estas presas son ejemplos claros de cómo los revestimientos de protección, como los polímeros y geomembranas, son esenciales para garantizar la impermeabilidad y la resistencia a la erosión.

Por otro lado, la revisión de proyectos como el Canal de Panamá (Caso 6) y el Sistema Hidráulico del Río Tamesis (Caso 8) enfatiza la necesidad de combatir la corrosión y el desgaste en infraestructuras que manejan tanto agua salada como dulce. En estos casos, los recubrimientos anticorrosivos y los sistemas impermeabilizantes no solo permiten prolongar la vida útil de las esclusas y barreras, sino que minimizan el mantenimiento y las interrupciones operativas, lo que es crucial para infraestructuras con un papel vital en el comercio global y la protección contra inundaciones. Un aspecto importante discutido en este capítulo es cómo los recubrimientos



geosintéticos y geomembranas han ganado relevancia en la protección de infraestructuras sujetas a condiciones ambientales extremas, como las de los rompeolas y dársenas. En estos casos, los materiales de revestimiento deben resistir no solo la acción constante del agua, sino también el impacto de las olas y la abrasión causada por partículas en suspensión. Estas soluciones demuestran que el desarrollo de nuevos materiales con propiedades mejoradas es clave para enfrentar los retos operacionales en el largo plazo.

La discusión también resalta cómo los avances en tecnologías de revestimiento han permitido abordar proyectos de rehabilitación y ampliación, como el caso del Canal de Panamá. La necesidad de ampliar la capacidad del canal para manejar embarcaciones más grandes requirió no solo la aplicación de nuevos materiales, sino también la actualización de las normativas que regulan su uso. Esto muestra la importancia de la innovación continua en el campo de los materiales de revestimiento, para garantizar que las infraestructuras existentes se adapten a las nuevas exigencias operacionales. En conjunto, el análisis de estos casos de estudio pone en evidencia que, aunque existen materiales de revestimiento que se utilizan de manera recurrente en obras hidráulicas, como el concreto reforzado o los recubrimientos poliméricos, cada proyecto requiere una solución ingenieril a medida. Esta adaptación es guiada por el cumplimiento de normativas, el análisis exhaustivo de las condiciones del sitio y la aplicación de tecnologías avanzadas que permiten enfrentar desafíos específicos. En consecuencia, el éxito de estos proyectos depende en gran medida de la correcta selección, implementación y mantenimiento de los materiales de revestimiento, lo que asegura la integridad y funcionalidad de las infraestructuras a lo largo del tiempo.

En el capítulo 7 “Comparación De Materiales de Revestimiento”, se ha abordado la comparación de diversos materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas, considerando aspectos cruciales como durabilidad, resistencia, costos y facilidad de instalación. La selección adecuada de estos materiales es esencial para garantizar la longevidad y el rendimiento de las estructuras hidráulicas. Los materiales de revestimiento deben soportar



condiciones ambientales severas y la acción constante de flujos de agua, sedimentos y otros agentes. Entre los materiales analizados, el concreto armado y los revestimientos cerámicos han mostrado una excelente durabilidad y resistencia a la erosión y al ataque químico. El concreto, en particular, se destaca por su robustez, aunque su rendimiento puede verse afectado por la calidad del material y las condiciones de exposición.

Los revestimientos de acero inoxidable y de materiales compuestos, como los polímeros reforzados con fibra (FRP), también han demostrado una alta resistencia a la corrosión y a la abrasión, lo cual es crucial en ambientes con alta salinidad o contaminantes químicos. Sin embargo, el costo de estos materiales puede ser significativamente mayor, lo cual debe ser considerado en el proceso de selección. El análisis económico de los materiales de revestimiento revela que el concreto armado y los revestimientos cerámicos suelen ser más económicos en comparación con materiales especializados como los FRP o el acero inoxidable. Aunque los materiales más costosos ofrecen ventajas en términos de durabilidad y menor mantenimiento, la elección entre costos iniciales y beneficios a largo plazo es un factor determinante.

El concreto y los revestimientos cerámicos requieren un mantenimiento relativamente bajo, mientras que los materiales como el acero inoxidable pueden tener costos operativos más altos debido a su instalación especializada y mantenimiento preventivo para asegurar su rendimiento óptimo. La facilidad de instalación varía considerablemente entre los diferentes tipos de revestimientos. Los revestimientos cerámicos y el concreto armado son generalmente más fáciles de aplicar y reparar, lo que reduce el tiempo y el costo de instalación. En contraste, los materiales como los FRP requieren técnicas de instalación más complejas y a menudo demandan la intervención de especialistas, lo que puede incrementar el tiempo de construcción y los costos asociados.

El impacto ambiental de los materiales de revestimiento también es un aspecto importante a considerar. Materiales como el concreto pueden tener un alto impacto debido a la emisión de



CO<sub>2</sub> durante su producción. Por otro lado, materiales reciclables o con menor huella de carbono, como ciertos compuestos sintéticos, ofrecen ventajas en términos de sostenibilidad ambiental. Es fundamental balancear la elección del material con criterios de sostenibilidad para cumplir con las normativas ambientales y reducir el impacto ecológico.

La comparación de materiales de revestimiento en obras hidráulicas muestra que no existe una solución única que se ajuste a todas las circunstancias. La elección debe basarse en una evaluación equilibrada de la durabilidad, los costos, la facilidad de instalación y el impacto ambiental de cada material. Cada tipo de revestimiento tiene sus propias ventajas y limitaciones, y la selección adecuada dependerá de los requisitos específicos del proyecto y las condiciones del entorno.

La optimización del costo y la durabilidad en la selección de materiales es un aspecto crucial en la ingeniería civil, especialmente en la construcción de infraestructuras hidráulicas. Los avances en nanotecnología y materiales compuestos han permitido desarrollar materiales que no solo cumplen con los requisitos estructurales, sino que también ofrecen una durabilidad extendida, reduciendo significativamente la necesidad de mantenimiento y reparación. Este aspecto es fundamental para la viabilidad económica de proyectos a gran escala, ya que los costos a largo plazo pueden reducirse notablemente cuando se eligen materiales que combinan alta resistencia con un costo moderado.

Por ejemplo, la nanotecnología ha permitido la creación de materiales con propiedades mecánicas mejoradas, como una mayor resistencia a la compresión y menor permeabilidad al agua, lo que prolonga la vida útil de las estructuras. Esto es especialmente importante en regiones con recursos limitados, donde la eficiencia económica es clave para la aprobación y ejecución de proyectos.

Además, los materiales compuestos, que combinan diferentes materiales para aprovechar sus respectivas fortalezas, son cada vez más utilizados por su capacidad para ofrecer soluciones



duraderas y económicamente viables. Estos avances no solo mejoran la resistencia estructural, sino que también pueden adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, lo que es crucial para el éxito de los proyectos a largo plazo.

La sostenibilidad y la responsabilidad ambiental son factores cada vez más cruciales en la selección de materiales de revestimiento en ingeniería civil. Los hallazgos de esta investigación subrayan la importancia de utilizar materiales reciclados y de bajo impacto ambiental, no solo para cumplir con las normativas actuales, sino también para reflejar un compromiso más amplio con la sostenibilidad ecológica en la práctica de la ingeniería. Este enfoque implica que los ingenieros deben considerar múltiples aspectos al seleccionar materiales, como la huella de carbono, la capacidad de reciclaje y el origen sostenible de los materiales. Al integrar estos criterios en el proceso de diseño, se promueve una construcción más responsable y alineada con los objetivos globales de sostenibilidad. Esto también representa un cambio en la ingeniería civil, donde no solo se priorizan las propiedades mecánicas y físicas de los materiales, sino también su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a una mayor eficiencia en el uso de recursos.

La adaptación de los materiales de revestimiento a las condiciones específicas de un proyecto es un proceso que requiere un análisis exhaustivo de las características geotécnicas e hidráulicas del sitio donde se llevarán a cabo las obras. Este enfoque personalizado es crucial para garantizar que las estructuras hidráulicas puedan soportar las exigencias a las que estarán sometidas a lo largo de su vida útil.

Uno de los principales desafíos en la selección de materiales es la necesidad de que estos sean capaces de resistir condiciones extremas, como los ciclos de congelación y descongelación, que pueden causar fisuras y debilitamiento estructural en materiales inadecuados. Los ciclos de congelación y descongelación son especialmente críticos en regiones con climas fríos, donde la expansión y contracción repetida del agua dentro de los poros del material pueden provocar fallas



estructurales. Por lo tanto, es esencial seleccionar revestimientos que mantengan su integridad en estas condiciones, como los materiales con baja absorción de agua y alta resistencia a la tracción. Además, en terrenos donde la abrasión es un factor significativo, como en canales con altos flujos de sedimentos o en estructuras expuestas a corrientes fuertes, los materiales de revestimiento deben ser altamente resistentes al desgaste. Esto podría implicar la selección de materiales reforzados con fibras o la aplicación de recubrimientos protectores que prolonguen la vida útil de la estructura al reducir el deterioro superficial. Por ejemplo, los geo compuestos avanzados que combinan resistencia y flexibilidad son particularmente adecuados para estos entornos, ya que pueden adaptarse a las deformaciones del terreno sin perder su capacidad de protección. Otro aspecto crucial es la capacidad de los materiales para manejar presiones hidráulicas significativas, especialmente en presas, túneles, y otras estructuras donde el agua ejerce una fuerza constante y considerable. Los materiales seleccionados deben ser capaces de soportar esta presión sin sufrir deformaciones que puedan comprometer la integridad de la estructura. Esto requiere no solo una resistencia mecánica adecuada, sino también una compatibilidad química con el agua y otros fluidos presentes, para evitar la degradación por corrosión o reacción química.

Por lo tanto, el proceso de selección de materiales implica pruebas de rendimiento que simulan las condiciones reales a las que se enfrentarán los revestimientos. Estas pruebas incluyen ensayos de resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad, y durabilidad frente a agentes químicos y físicos. Los resultados de estas pruebas permiten a los ingenieros tomar decisiones informadas sobre los materiales más adecuados, asegurando que la estructura final no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también maximice la seguridad y la durabilidad a largo plazo.

La incorporación de tecnologías avanzadas en la construcción de obras hidráulicas está transformando la manera en que los ingenieros abordan el diseño y la ejecución de proyectos. La impresión 3D, en particular, ha emergido como una herramienta revolucionaria que permite a los ingenieros crear estructuras con geometrías complejas que serían imposibles de realizar mediante



métodos tradicionales. Esta tecnología no solo facilita la creación de formas innovadoras, sino que también optimiza el uso de materiales, lo que resulta en una reducción significativa de residuos y costos. Por ejemplo, la impresión 3D permite la fabricación de componentes de tamaño y forma específicos que se adaptan perfectamente a las necesidades de un proyecto en particular. Esta precisión reduce la necesidad de ajustes en el sitio, lo que a su vez disminuye el tiempo y el costo asociados con la instalación. Además, la capacidad de crear estructuras huecas o con patrones internos complejos puede mejorar la eficiencia estructural, permitiendo la construcción de revestimientos que son tanto ligeros como robustos. Además de la impresión 3D, los nuevos métodos de fabricación de materiales están permitiendo la creación de compuestos avanzados que combinan múltiples propiedades deseables, como resistencia mecánica, durabilidad y sostenibilidad. Estos compuestos pueden ser diseñados a nivel molecular para ofrecer un rendimiento óptimo en las condiciones específicas de un proyecto hidráulico, lo que mejora la longevidad y la seguridad de las infraestructuras.

La implementación de estas tecnologías avanzadas, sin embargo, requiere que los ingenieros no solo se mantengan actualizados con los últimos avances, sino que también desarrollen nuevas habilidades técnicas. Esto incluye la comprensión de los procesos de fabricación aditiva, la capacidad para diseñar en entornos digitales avanzados y el conocimiento de cómo integrar estas innovaciones en proyectos de construcción reales. La educación continua y la formación especializada serán esenciales para que los ingenieros puedan aprovechar al máximo estas tecnologías y aplicarlas de manera efectiva en sus proyectos.

La gestión de riesgos y seguridad es un aspecto crítico en la selección de materiales para infraestructuras hidráulicas, ya que los materiales elegidos deben poder resistir diversas formas de degradación a lo largo del tiempo. La resistencia a la erosión, la filtración y otros mecanismos de deterioro no solo es vital para la integridad estructural, sino que también es esencial para garantizar la seguridad a largo plazo de las infraestructuras. La erosión, por ejemplo, puede comprometer la estabilidad de las estructuras si no se eligen materiales con la resistencia



adecuada. De manera similar, la filtración no controlada puede llevar a la saturación del terreno circundante, incrementando el riesgo de fallas. Es fundamental que los ingenieros adopten un enfoque proactivo en la gestión de riesgos durante la selección de materiales, considerando no solo las condiciones actuales del sitio, sino también cómo podrían evolucionar en el futuro debido a factores como el cambio climático, el aumento en la frecuencia de eventos extremos y otras influencias ambientales. Por ejemplo, las fluctuaciones en los niveles de agua o cambios en la química del agua pueden afectar la longevidad de ciertos materiales. Ante esta incertidumbre, los ingenieros deben realizar evaluaciones de riesgo más detalladas, las cuales deberían incluir simulaciones y pruebas que evalúen cómo los materiales pueden comportarse en escenarios adversos. La selección de materiales debe incorporar un margen de seguridad que contemple estas variables, garantizando que, incluso en condiciones cambiantes, las infraestructuras puedan mantenerse operativas y seguras. Esto podría implicar la preferencia por materiales que, aunque puedan ser más costosos, ofrecen una mayor resistencia a factores de degradación como la corrosión, la abrasión o el ataque químico. Además, el uso de materiales con propiedades auto diagnosticables o autorreparables, como los revestimientos inteligentes, puede ser una estrategia efectiva para mitigar riesgos, ya que permiten una intervención temprana antes de que los problemas se conviertan en amenazas críticas.

La gestión de riesgos y la seguridad no son solo consideraciones adicionales en la selección de materiales, sino componentes fundamentales que deben integrarse en cada fase del diseño y la implementación de proyectos de ingeniería civil. La capacidad de prever y mitigar riesgos mediante la elección de materiales adecuados es esencial para asegurar la durabilidad y seguridad a largo plazo de las infraestructuras hidráulicas, protegiendo tanto a las personas como a los recursos económicos invertidos en estos proyectos

## 6. Conclusiones

- El análisis de los materiales de revestimiento utilizados en obras hidráulicas ha revelado varios hallazgos clave que subrayan la importancia de la selección adecuada de estos materiales



en la ingeniería civil. En primer lugar, se identificó que los materiales naturales, como las piedras y gravas, continúan siendo relevantes debido a su disponibilidad y sostenibilidad, aunque presentan limitaciones en términos de durabilidad y resistencia mecánica. Por otro lado, los materiales sintéticos, como los geotextiles y geomembranas, han demostrado ser efectivos en la impermeabilización y control de la erosión, destacando por su resistencia química y flexibilidad en diversas aplicaciones hidráulicas.

- Los materiales compuestos, como los concretos especiales y los revestimientos poliméricos, han mostrado un rendimiento superior en términos de durabilidad y capacidad de carga, especialmente en estructuras que requieren alta resistencia a la compresión y a condiciones operativas extremas. Además, se observó que los desarrollos tecnológicos recientes, como la incorporación de nanotecnología y el uso de materiales reciclados, están abriendo nuevas posibilidades para mejorar las propiedades mecánicas y ambientales de los revestimientos.

- La revisión de casos de estudio también permitió evaluar cómo la selección de materiales influye directamente en la eficiencia operativa y en la vida útil de las infraestructuras hidráulicas. Los proyectos que emplearon materiales avanzados mostraron una mayor resistencia al desgaste, menores costos de mantenimiento, y una reducción significativa en el impacto ambiental, lo que sugiere que la inversión en materiales de alta calidad puede ser una estrategia rentable a largo plazo.

- Estos hallazgos subrayan la necesidad de continuar investigando y desarrollando materiales de revestimiento que no solo cumplan con los requisitos técnicos, sino que también sean sostenibles y económicamente viables, reflejando la creciente importancia de integrar consideraciones ambientales en la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil.

Para aplicar de manera efectiva los materiales de revestimiento estudiados en obras hidráulicas, es crucial considerar varios aspectos clave que aseguren tanto la durabilidad de las estructuras como su viabilidad económica y ambiental. Primero, es recomendable realizar un



análisis exhaustivo de las condiciones geotécnicas e hidráulicas del sitio donde se va a llevar a cabo el proyecto. Esto incluye evaluar la presión del agua, la velocidad de flujo, y las características del suelo, factores que influirán en la selección del material más adecuado para el revestimiento.

En proyectos donde se prioriza la durabilidad y resistencia a la abrasión, los materiales compuestos como el hormigón de alto rendimiento o los revestimientos poliméricos son altamente recomendables. Estos materiales no solo ofrecen una mayor resistencia mecánica, sino que también tienen una vida útil más prolongada, lo que reduce los costos de mantenimiento y las interrupciones operativas. Sin embargo, es importante balancear estos beneficios con el costo inicial, especialmente en proyectos con restricciones presupuestarias.

La sostenibilidad es otro factor crítico que debe guiar la selección de materiales. Es recomendable optar por materiales reciclados o aquellos que tengan un menor impacto ambiental siempre que sea posible. Por ejemplo, el uso de materiales sostenibles, como los geosintéticos fabricados con componentes reciclados, no solo contribuye a la reducción de la huella de carbono del proyecto, sino que también puede cumplir con los estándares de rendimiento necesarios para aplicaciones hidráulicas. Además, estos materiales pueden mejorar la reputación del proyecto y facilitar la obtención de permisos ambientales.

Otra recomendación clave es la incorporación de tecnologías avanzadas, como la nanotecnología en revestimientos, que ha demostrado mejorar significativamente las propiedades hidráulicas y mecánicas de los materiales. La inversión en estas innovaciones puede resultar en estructuras más eficientes y con un mejor desempeño a largo plazo. Sin embargo, es esencial que se realicen pruebas piloto y estudios de viabilidad antes de su implementación a gran escala para asegurar que los beneficios teóricos se traduzcan en mejoras prácticas.

Es crucial mantener un enfoque flexible y adaptable en la selección y aplicación de los materiales de revestimiento. Las condiciones del sitio y los requisitos del proyecto pueden



cambiar, por lo que es importante estar preparado para ajustar la selección de materiales o técnicas de aplicación según sea necesario. Además, la colaboración con expertos en materiales y la consulta de normativas y estándares actuales es esencial para asegurar que se tomen decisiones informadas y que se mantenga la integridad y seguridad de las estructuras hidráulicas a lo largo del tiempo.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta Álvarez, R. A. (2014). *Estudio para el diseño del sistema de acueducto del corregimiento del Salobre municipio de Rio de Oro*. Edu.Co.

<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/877>

Acuña Caro, A. (2018). *Análisis comparativo de resistencias a compresión en muros de mampostería, por medio del uso de fibras de carbono y basalto para procesos de restauración y conservación*. Universidad de Cartagena.

<https://doi.org/10.57799/11227/7797>

Aguilera, M. Á. D. (2008). *Diseño de Juntas de Expansion*. Unam.Mx.

<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000632308/3/0632308.pdf>

Airey, G. D., Singleton, T. M., & Collop, A. C. (2002). Properties of polymer modified bitumen after rubber-bitumen interaction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(4), 344–354. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2002\)14:4\(344\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2002)14:4(344))

Alayo Ruiz, M. W., & Espinoza Orosco, J. S. (2018). *Simulación hidráulica de la línea de conducción y red de distribución de agua potable aplicando el software WaterCAD en la localidad de Laredo* [Universidad Privada Antenor Orrego].

<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4456>



Alegre Gago, G. (2017). *Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Alendy, C. (2018). *Desarrollo, caracterización y validación de un bioplástico reforzado con orégano con acción antifúngica contra alternaria (Alternaria alternata)*. Zamorano.edu.  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e73589ce-beb6-476a-b104-7def3d68076b/content>

Aliofkhazraei, M. (2014). *Developments in corrosion protection*. BoD – Books on Demand.  
<https://books.google.at/books?id=MSqhDwAAQBAJ>

Alvarez Cabrera, S. R., & Torres Trigoso, C. R. (2019). *Estudio y diseño de obra hidráulica, destinada al riego por aspersión, para incrementar la producción agrícola en el caserío Sexemayo Lote I, centro poblado el Cumbe, distrito de Cajamarca* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/43407>

Amoros, J. L., Belda, A., & ORTS y A. ESCARDINO, M. J. (1992). *Expansión térmica de piezas de pavimento cerámico gresificado. Influencia de las variables de prensado y de la temperatura de cocción*. Secv.Es. <https://boletines.secv.es/upload/199231109.pdf>

Andes, U. V. E. D. (2006). *INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA Y EL FENÓMENO FIRST FLUSH EN EL DISEÑO DE ALIVIADEROS*. Edu.Co.



<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/1cc8c580-7c35-47c7-9be9-f6cc20701871/content>

ANLA. (2019). *AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES - ANLA* –. Gov.Co.  
<https://www.anla.gov.co/images/documentos/resoluciones/20221115-res-1705-29082019.pdf>

Aparicio Villacorta, G. G., García, J. A., & Hernández García, M. A. (2011). *Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en El Salvador*. Universidad de El Salvador.

Apaza, Q., & Luciano, W. (2021). *Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina, Puno, 2021*. Universidad César Vallejo.

Araque, E. (2016, September 22). *Río Támesis, el más largo de Inglaterra*. Fundación Aquae.  
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/rio-tamesis/>

Araújo, G. L. S., Sánchez, N. P., Palmeira, E. M., & Almeida, M. das G. G. de. (2022). Influence of micro and macroroughness of geomembrane surfaces on soil-geomembrane and geotextile-geomembrane interface strength. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(4), 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.03.015>



Araúz, C. A., & Pizzurno, P. (2003). La construcción del Canal de Panamá, 1904-1914. *Mesoamérica*, 100–130.

Araya, F., González, Á., Delgadillo, R., Wahr, C., García, G., & Zúñiga, R. (2012).

Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados utilizados actualmente en Chile. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 27(3), 198–210.

<https://doi.org/10.4067/s0718-50732012000300006>

Araque Leal, R. A. (2015). Valoración del impacto ambiental del calentamiento global en los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo mediante la aplicación del análisis del ciclo de vida caso de estudio Pamplona-Norte de Santander (Colombia) [Trabajo de Grado Maestría, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/559>

AYALA, J. E. D., RAMIREZ, A. C., & ACUÑA, F. I. N. (2016). Impactos ambientales y sociales de la construcción de embalses en Colombia: Aproximación al estado del arte. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/9f01e3ff-6c97-4f19-867b-c41480b04d99/content>

Bach. Villalobos Pujay, K. W. (2019). *PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO Y LA INFLUENCIA EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL DRENAJE PLUVIAL*



DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO – 2018. Edu.Pe.

<http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1785>

Bagnoli, P., Bonfanti, M., Della Vecchia, G., Lualdi, M., & Sgambi, L. (2015). A method to estimate concrete hydraulic conductivity of underground tunnel to assess lining degradation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50, 415–423.

<https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.08.008>

Barrientos Quezada, T. J. (1997). Desarrollo evolutivo del sistema de canales hidráulicos en Kaminaljuyú (Doctoral dissertation, Universidad del Valle de Guatemala). Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1064>

Bautista Capetillo, C., González Pérez, G. A., & Badillo Almaraz, H. (2021). Aprovechamiento histórico de los recursos hídricos. Evolución de obras hidráulicas en el estado de Zacatecas. *DECUMANUS*, 6(6), 74–93. <https://doi.org/10.20983/decumanus.2021.1.5>

Berga Casafont, L. (1990). Las grandes presas del río Colorado. *Revista de obras públicas*, 137(3289), 31–44. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/191984>

Berrocal Villalba, I., Deyongh Cedeño, J., Pérez Ruiz, F., Romero Vargas, J. D., & Sabatino Manjarres, I. (2023). *Dársena y canal de captación con barreras anti erosivas para la nueva bocatoma de Barranquilla*. <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11781>



Blanco, M., Soriano, J., Aguilar, E., & Zaragoza, G. (2002). Análisis microscópico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses. *Revista Digital del Cedex*, 127, 51–51. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1647>

Blázquez, R. G. (2012). *Revestimientos de mármol romanos. Análisis e interpretación*. Sedhc.Es. [https://www.sedhc.es/biblioteca/actas/Gallego%20Bl\\_zquez.pdf](https://www.sedhc.es/biblioteca/actas/Gallego%20Bl_zquez.pdf)

Bolelli, G., Cannillo, V., Lusvarghi, L., Manfredini, T., Siligardi, C., Bartuli, C., Loreto, A., & Valente, T. (2005). Plasma-sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure, chemical resistance and mechanical properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(11), 1835–1853. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.06.018>

Borrell, A., García-Moreno, O. C. O., Fernández, A. C. O., & Torrecillas, R. C. (2011). *Material compuesto electroconductor con coeficiente de expansión térmica controlado*. Handle.net. <http://hdl.handle.net/10261/40195>

Borsellino, M. J. (2012). *DISEÑO DE ESCALA DE PECES VERTEDERO RUTA PROVINCIAL N° 28 BAÑADO LA ESTRELLA*. Pilcomayo.net. [https://www.pilcomayo.net/media/uploads/biblioteca/libro\\_1436533300.pdf](https://www.pilcomayo.net/media/uploads/biblioteca/libro_1436533300.pdf)

Bruce, R. N. (1960). Rompeolas de hormigón pretensado. *Informes de La Construcción*, 13(122), 83. <https://doi.org/10.3989/ic.1960.v13.i122.5169>



Bruno Castillo, E. A., & Peralta López, J. C. (2014). *Determinación del módulo de elasticidad estático a compresión del concreto producido en la planta concretera dino-chimbote*. Universidad Nacional del Santa.

Buffington, J. M., & Montgomery, D. R. (1999). Effects of hydraulic roughness on surface textures of gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, 35(11), 3507–3521.  
<https://doi.org/10.1029/1999wr900138>

Caballero, M., & E, K. (2009). *Estudio experimental de la ductibilidad de soportes de hormigón convencional sometidos a compresión y carga lateral cíclica*.

Cabrera, F. M. (2010). La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y desarrollo*, 8(0), 10. [https://revistas.uax.es/index.php/tec\\_des/article/view/556/512](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/556/512)

Cáceres, A., & Andrés, F. (2022). *Diseño conceptual de centrales hidroeléctricas a bombeo usando agua desalinizada*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189091>

Caffaro, G., & Cruz, M. P. (2010). *Caracterización de suelos para obras de micro embalses sobre riacho He-He, Formosa*. 1–7.

Calderón Jalca, Joffre Antonio, Marcillo Merino, Gery Lorenzo. (2022). *Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas: Comanche Uno y Comanche Dos, ubicadas en el cantón Palora*,



*provincia de Morona Santiago. Edu.Ec.*

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2962>

Calderón, R., & Ester, Y. (2012). *Determinación de las fases presentes en pisos y revestimientos cerámicos a base de arcilla cocidos a diferentes temperaturas y su influencia en las propiedades técnicas*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11295>

Campoverde Abad, D. A., & Requejo Guevara, J. Y. (2023). *Diseño hidráulico de la red de distribución de agua potable y alcantarillado del Asentamiento Humano Rosa de Guadalupe, distrito 26 de Octubre, Piura 2022* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/134348>

Cantwell, W. J., & Morton, J. (1991). The impact resistance of composite materials — a review. *Composites*, 22(5), 347–362. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(91\)90549-v](https://doi.org/10.1016/0010-4361(91)90549-v)

Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfan, J. C., & Meléndez-Pertuz, F. (2017). Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable. *CIT Informacion Tecnologica*, 28(6), 103–114. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642017000600012>

Cazzuffi, D., Mandaglio, M. C., & Moraci, N. (2016). Hydraulic properties, behavior, and testing of geotextiles. In *Geotextiles* (pp. 151–176). Elsevier.



Chivatá, A. M. & Granados, D. P. (2015). *La participación de los gobiernos de Brasil y Paraguay en la responsabilidad social y ambiental de la hidroeléctrica Itaipú binacional*. Handle.net. <http://hdl.handle.net/10654/6645>

Choque, C., & David, B. (2023). *Propiedades físicas y mecánicas de concreto hidráulico modificados con cenizas de cartón y cerámico reciclado para revestido de canales*, Cusco 2023. Universidad César Vallejo.

Cinto, C. (2021, July 27). *6 diques para visitar un fin de semana en Córdoba*. Cadena 3 Argentina. [https://www.cadena3.com/noticia/cordoba/6-diques-para-visitar-un-fin-de-semana-en-cordoba\\_293420](https://www.cadena3.com/noticia/cordoba/6-diques-para-visitar-un-fin-de-semana-en-cordoba_293420)

Civil, I., & Perfil, V. T. mi. (2015). *Introduccion a la ingeniería*. Blogspot.com. <https://introingenieriacyivil.blogspot.com/2012/02/esclusa.html>

Comas Navarro, S. A., & Espino Ventura, S. A. (2018). *Diseño de un embalse desde el punto de vista hidrológico en la cuenca del río Boba República Dominicana utilizando el software ArcGIS 10.3* [Santo Domingo: Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.]. <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/598>

*Confluencia Varios Canales Riego Provincia Zamora España*. (2020). Depositphotos. Retrieved September 13, 2024, from <https://depositphotos.com/mx/photo/confluence-several-irrigation-canals-province-zamora-spain-481551112.html>



Consuegra Liseth, C. R. G. C. (2022). *Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte*. Redalyc.org.

<https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/html/>

Cornejo, A. F. P. (2015). *Análisis de factibilidad técnica y económica para disposición de pozo de infiltración vertical en sector plaza Puente Alto, Región Metropolitana, Chile*.

<https://core.ac.uk/reader/288914880>

Cualla, L., & Alfredo, R. (2003). *Elementos De Diseño Para Acueductos Y Alcantarillados*.

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1892>

Cuestas, G., & Del Pilar, L. (2021). *Mejoramiento hidráulico de un canal de riego aplicando revestimiento de concreto, Cospán, Cajamarca, 2021* [Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74456>

Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quinchá. *Informes de La*

*Construcción*, 67(537), e063. <https://doi.org/10.3989/ic.12.082>

Davor Rodniery Melgar Argueta, A. A. G. A. (2024). *Doble tratamiento asfáltico reciclado como subbase para pavimento de concreto hidráulico*. Unitec.edu.

<https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/12985>



Daza Mafioli, C., Coral Escobar, E. E., & Plaza Castillo, J. (2019). Medición de la conductividad térmica en materiales aislantes bajo régimen de flujo de calor no estacionario. *Ingeniería y Ciencia*, 15(30), 101–116. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.15.30.5>

De Barros María, F. M. (2015). *Evaluación cualitativa del comportamiento hidráulico de presas de control o retención de sedimentos, abiertas y cerradas, a través de la realización de modelaje físico*. <http://hdl.handle.net/10872/11772>

de Castilla, E. N. (2022, September 27). *La dársena del Canal de Castilla en Valladolid vuelve a llenarse de agua*. El Norte de Castilla. <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/darsena-canal-castilla-20220927133509-ga.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.elnortedecastilla.es%2Fvalladolid%2Fdarsena-canal-castilla-20220927133509-ga.html>

De García, A. (2000). Aportaciones de Herodoto de Halicarnaso al conocimiento de la construcción en la Antigüedad *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Cloudfront.net. Retroceded Septiembre 13, 2024, from [https://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC3\\_052.pdf](https://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC3_052.pdf)

de La Cruz Clara Rosalia Alvarez Chavez David Carlos Orona Llano, A. O. (2020). DRENAJE PLUVIAL SOSTENIBLE. UNA ALTERNATIVA DE GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA. *Contexto revista de la facultad de*



*arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León, 14(20).*

<https://doi.org/10.29105/contexto14.20-4>

de la Salud, O. P. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración*. OPS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55349>

de Villanueva Susana Mora David Sanz, L. (2005). *La construcción medieval y renacentista en las puertas del conjunto amurallado de Moya (Cuenca). Materiales históricos y técnicas constructivas*. Upm.Es. [https://oa.upm.es/916/1/comunicaci%C3%B3n\\_moya.pdf](https://oa.upm.es/916/1/comunicaci%C3%B3n_moya.pdf)

del Carmen Castellanos Albores Roberto Méndez Maya María Antonieta Cornejo Peña Raúl Sánchez Rubio Carrillo Rogelio Oliver Parra, L. (2014). *Evaluación de absorción de agua y porosidad de tres resinas para base de dentaduras*. Medigraphic.com. <https://www.medigraphic.com/pdfs/COMPLETOS/adm/2014/od143.pdf#page=38>

del Valle Arana, J. M. de. (2022). *El color en el siglo XIX: utilización de fondos de colores oscuros en los revestimientos de paramentos interiores en la arquitectura del siglo XIX* [Universidad Politécnica de Madrid - University Library]. <https://doi.org/10.20868/upm.thesis.14521>

Delgado Rojas, Jeiner Anibal Gonzales Ballena, Diego Armando. (2017). *Diseño del sistema de drenaje pluvial y pavimentación para el área urbana del centro poblado de Pampa*



Grande, distrito de Chongoyape, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Handle.net. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1997>

DMA. (2001). *Directiva Marco del Agua*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/marco-del-agua.html>

Espir Nureña, J. J., & Morales Leiva, J. A. (2015). *Evaluación de fenómenos hidráulicos en el canal Chaquin del sistema de riego del Valle de Virú primer tramo* [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/1142>

Feijoó, I. J. R. (2015). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS*. Cloudfront.net. Retrieved September 12, 2024, from [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36084925/obras\\_hidraulicas\\_rivera\\_feijoo-libre.pdf?1419830680=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO\\_ESTRUCTURAL\\_DE\\_OBRAS\\_HIDRAULICA\\_S.pdf&Expires=1727390093&Signature=OuoxIHtbUqOGOjiE022p2VFP02XTnh5MEW39FIRMW~UE8VgNoxdSJ57H8Oj4akAP7yhfcUHVBGIXZ8RTJRkBTXWkOSI5fGyIchW-dlX3I927aZzkx2eRwbvMTBJ~qbP0wqD1r0Ex7JkRm2FtgMgO64kxFB8bepm1xc2-mRTp7GTOB1BIH9KpW9C1XrXTVsJoZoPMMR08KKW~G4P5MZiEm7vkn~ELV6mYgepGNpjy2TQn0HPlvLEFe38XOI210UpEHL5WuXD7cJ3~ZLPGZsL-onK1IeJFD65AmfawbY6~68HB8IuVj~1hpGQF0Tv0BemWRROhDJx3uWbKXja0UyGfHA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36084925/obras_hidraulicas_rivera_feijoo-libre.pdf?1419830680=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_ESTRUCTURAL_DE_OBRAS_HIDRAULICA_S.pdf&Expires=1727390093&Signature=OuoxIHtbUqOGOjiE022p2VFP02XTnh5MEW39FIRMW~UE8VgNoxdSJ57H8Oj4akAP7yhfcUHVBGIXZ8RTJRkBTXWkOSI5fGyIchW-dlX3I927aZzkx2eRwbvMTBJ~qbP0wqD1r0Ex7JkRm2FtgMgO64kxFB8bepm1xc2-mRTp7GTOB1BIH9KpW9C1XrXTVsJoZoPMMR08KKW~G4P5MZiEm7vkn~ELV6mYgepGNpjy2TQn0HPlvLEFe38XOI210UpEHL5WuXD7cJ3~ZLPGZsL-onK1IeJFD65AmfawbY6~68HB8IuVj~1hpGQF0Tv0BemWRROhDJx3uWbKXja0UyGfHA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)



Fernández, C. A. B. (2007). *EFFECTOS AMBIENTALES GENERA OPERACIÓN DE UN EMBALSE*. Edu.Co. Retrieved September 13, 2024, from <https://repositorio.unisucra.edu.co/server/api/core/bitstreams/4cd5529d-d16c-470a-ba32-3f059e9b334a/content>

Fernández-Rojas, F., Fernández-Rojas, C. J., Salas P, K. J., García, V. J., & Marinero, E. E. (2008). Conductividad térmica en metales, semiconductores, dieléctricos y materiales amorfos. *Revista De La Facultad De Ingenieria*, 23(3), 5–15. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652008000300001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000300001&lng=es&tlng=es)

Ferré Garro, R. (2017). *Caracterització de les propietats estructurals de formigons fibrats d'ultra-altes prestacions*.

Finger, A. (2012). *¿Qué es un pozo de absorción?* Pinterest. <https://mx.pinterest.com/pin/854909941778692749/>

Flores, S. A. M. (2011). *Diseño del Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas Servidas de la Urbanización San Emilio*. Core.ac.uk. <https://core.ac.uk/download/pdf/147381981.pdf>

Fonseca Yáñez, J. D. (2023). *Generación de herramientas para automatizar el diseño de escalera de peces tipo relentizadora, esclusa y artesana : diseño y optimización de*



*herramienta para el dimensionamiento de escalera de peces tipo esclusa. Edu.Ec.*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25648>

Freijeiro, A. B., & Iñiguez, D. A. (1977). *El puente de Alcántara en su contexto histórico: discurso de ingreso*. Real Academia de La Historia.

<https://books.google.at/books?id=f15zvwHi6C4C>

Gallardo Armijos, P. (2018). *Diseño de canales abiertos*. Editorial Científica 3Ciencias.

<https://doi.org/10.17993/ingytec.2018.43>

García de la Vega, A. (2011). Las obras hidráulicas romanas en Tiermes. Organización espacial del territorio y asimilación de la intervención humana en el paisaje. *Estudios Geograficos*, 72(271), 437–459. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201117>

García Hernández, F., Delgado Alamilla, H., & Campos Hernández, D. E. (2018). Influencia de variables de diseño en las propiedades mecánicas de una base estabilizada con asfalto espumado. *Infraestructura Vial*, 20(35). <https://doi.org/10.15517/iv.v20i35.34829>

García Ortiz, H., Legorreta García, F., Chávez Urbiola, E. A., Olguín Coca, F. J., Arenas Flores, A., & Cardoso Legorreta, E. (2022). Efecto de tres aditivos y/o sustitutos del cemento portland, en las propiedades de blocks de concreto (vibro-compactados). *Tópicos de Investigación En Ciencias de La Tierra y Materiales*, 5(5), 122–128.  
<https://doi.org/10.29057/aactm.v5i5.9121>



García, R., & Jesús, M. (2023). Obras hidráulicas en el paisaje urbano. El patrimonio histórico del abastecimiento de agua en Madrid. *XXIV Congreso Comité Español de Historia del Arte*.

García, V. E., & Lguácel, C. M. (1995). Aliviaderos escalonados. Diseño de la transición entre el umbral y la rápida escalonada. *Revista Digital del Cedex*, 99, 101–101.  
<https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1072>

Gil, C., Peiró, M. C., Gómez, J. J., Chiva, L., Cerisuelo, E., & Carda, J. B. (2020). *ESTUDIO DE LA POROSIDAD EN SOPORTES DE GRES PORCELÁNICO*. Qualicer.org.  
<https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0632110s.pdf>

Giraldo, Tobón, M. A., & Iván, J. (2015). *Universidad Nacional de Colombia*. Redalyc.org.  
<https://www.redalyc.org/pdf/496/49614807.pdf>

Gonzales. (2017, July 25). *¿Para qué sirven los aliviaderos?* arsloca.com |; arsloca.com.  
<https://www.arsloca.com/para-que-sirven-los-aliviaderos/>

González Agudo, T. (2016). *Recubrimiento con polímeros conductores para mejorar la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables austeníticos*. Universidad de Valladolid.



Gonzalez, Victor H., Director. Acosta Dávila, Miguel Renán. (1993). *Diseño y construcción de un sistema de transporte neumático a presión positiva utilizando una esclusa dosificadora*. Edu.Ec. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4317>

Gonzalo Valdés Vidal, Óscar Javier Reyes-Ortiz, Giovanni González Penuela. (2011). *Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción*. Org.Co. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v29n1/v29n1a03.pdf>

Guerra Herrera, G. C., & Logroño Naranjo, S. I. (2019). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3.2.1), 73–87. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.783>

Guerrero, C., Lozano, T., González, V., & Arroyo, E. (2003). Morfología y propiedades de politereftalato de etilen-glicol y polietileno de alta densidad. *Ciencia UANL*, 6(2). <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1297>

Guo, J., Shang, C., Yang, S., Guo, H., Wang, X., & He, X. (2009). Weather resistance of low carbon high performance bridge steel. *Materials in Engineering*, 30(1), 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.04.038>

Gutiérrez, J. C., Sevilla, L. M. L., Grajales, D. H. M., & Toro, A. A. (2004). EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN RECUBRIMIENTOS DUROS



PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA MINERA. *Scientia et technica*, 2(25).

<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7217>

Gutiérrez Rodríguez, D. D., & Alarcón Morales, F. J. (2019). *Diseño y construcción de un banco de prueba para realización del ensayo de vertederos y de resalto hidráulico, para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Piloto de Colombia seccional Alto Magdalena*. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5748>

Guzmán, E. B. (2014). *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ*. Tecnm.Mx.  
[http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1787/MDRPI\\_M2014093.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1787/MDRPI_M2014093.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Guzmán, V., & Rafael, L. (1998). *Revestimiento de canales abiertos de conducción de agua, con polietileno de alta densidad. aplicación: trasvase Daule - santa Elena*. ESPOL. FICT.

Haduch Suski, Z. (2003). *Materiales y revestimientos*. Edu.Mx.  
<http://repositorio.udem.edu.mx/handle/61000/1070>

Hernandez, S., & Fernando, L. (2012). *Construcción de obra hidráulica rural e importancia del uso de documentos técnicos en construcción: caso Kancabchen, Quintana Roo*.  
<https://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3344>



Hidrología, H. e. (2020.). *TIPOS DE PRESAS HIDRÁULICAS*. INGENIERÍA

HIDRÁULICA: TODO LO QUE NECESITAS SABER. Retrieved September 13, 2024,  
from <https://hidraulicautiling.blogspot.com/2020/04/tipos-de-presas-de-agua.html>

Holguín-Veras, A., & Magdalena, P. (2015). *Las rocas ornamentales como material de revestimiento en edificación: reporte sobre estado actual y tendencias* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78853>

Hostia, A. (2021). *Propiedades mecánicas*. INFINITIA Industrial Consulting.  
<https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/>

Huaman Flores, Dalia Rubi Valverde Atanacio, Wilder Gonzalo. (2023). *Análisis hidráulico empleando el criterio de máxima eficiencia hidráulica con distintos tipos de revestimiento y evaluación de huellas de carbono, en el canal de riego Pukajirka del km 0+000 al km 1+526.10 en el distrito de Anra, Anca*. Handle.net. <http://hdl.handle.net/10757/669955>

Huamani, G., & Alexander, M. (2020). *Diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico con partes de material reciclado para la captación y almacenamiento de agua Calango-Cañete, 2019*. Universidad César Vallejo.

ICMSC La construcción, C. I. de E. de M. en. (2019). *Estándares internacionales de medición en la construcción: Coordinación global en la presentación de costes de construcción*.



Wordpress.com. <https://icmscblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/05/icms-castellano-definitivo-spanish-2017.pdf>

Insua Sharps, C., & Gonzales Linares, C. (2018). El arte de las obras hidráulicas prehispánicas. *Paradigmas*, 2(1), 93–108. <https://doi.org/10.31381/paradigmas.v2i1.1505>

Iryo, T., & Rowe, R. K. (2003). On the hydraulic behavior of unsaturated nonwoven geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(6), 381–404. [https://doi.org/10.1016/s0266-1144\(03\)00046-3](https://doi.org/10.1016/s0266-1144(03)00046-3)

Istúriz, Á. P. (2019). *ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL TIEMPO DE RENOVACIÓN DE LA DÁRSENA DE RAOS DEL PUERTO DE SANTANDER*. Unican.Es. [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17190/TFM\\_ALVARO%20Perez.pdf?sequence=1](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17190/TFM_ALVARO%20Perez.pdf?sequence=1)

Jácome, C., & Junior, G. E. (2023). *Influencia de los aditivos impermeabilizantes en líquido (SIKA WT – 100 y SIKA I) en la resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> para su uso en obras hidráulicas*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Lazaro D, N. E. (2021). *Influencia de la resistencia a la abrasión de la piedra chancada expuesta a la intemperie*. Edu.Pe. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4424>



Lemus Vera, M. F., & Navarro V., G. (2004). *Diseño de obras de conservación. Canales de desviación - sistema de zanja de infiltración.*

<http://oasification.com/archivos/Manual%20de%20Mauco.pdf>

Lipa, R. B., & Hassan, J. (2018). *Evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera El Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018* [Universidad Alas Peruanas].

<https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/8988>

Lira Cortés, L., Rodríguez, G., & J., O. (2008). *Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones.* Cenam.Mx.

[https://www.cenam.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf](https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf)

López, A., Palacios, B., Irigoyen, J., Sosa, G., & Benítez, J. (2020). Preparación de Ladrillos Ecológico. *RECIENTE*, 3(1), 19–32.

<https://revistas.aplicadas.edu.py/index.php/reciente/article/view/24>

López, D. F., Osorio, O., & Checa, O. E. (2019). Propiedades Mecánicas de un Material de Pectina para Revestimiento de Fibras Naturales Utilizadas en Aplicaciones Agrícolas. *CIT Informacion Tecnologica*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000300189>



López-Silva, M., Carmenates-Hernández, D., Mujica-Cervantes, A., & Paneque-Rondon, P.

(2017). Nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3), 12–21.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542017000300002&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542017000300002&script=sci_arttext&tlng=pt)

Lozano, F. A. (1990). Determinación del volumen mínimo de cárcamo y de tanques de regulación en sistemas de bombeo. *Tecnología y ciencias del agua*, 9–12.

<https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/640>

Lozano, S. (2018, September 6). *Instalación de redes de riego desmontables para cultivos esporádicos*. Agromasan. <https://www.agromasan.com/instalacion-de-redes-de-riego-desmontables-para-cultivos-esporadicos/>

Mamani Apaza, F. W., & Condori Quispe, M. M. (2024). Producción de Concretos Hidráulicos Mediante Reciclaje de Ladrillos de Arcilla. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 11921–11929. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.10506](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10506)

Manfredo, F. (2006). *CANAL DE PANAMA EL PROYECTO DEL TERCER JUEGO DE ESCLUSAS*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/5350/535055625002.pdf>



Marron. (2018). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA*. Edu.Pe.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a9e8100a-d520-4f94-8faa-c69a6bc7c842/content>

Martinez Monseco, F. J., & Planagumá Vilamitjana, A. (2021). Innovando desde la Gestión del mantenimiento. El Remantenimiento. Caso práctico Central Hidroeléctrica. *Ingeniería Energetica*, 42(2), 48–60. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012021000200048&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012021000200048&lng=es&tlng=es).

Martínez Valdés, O., & Arzola Ruiz, J. (2017). Operadores genéticos y de búsqueda aleatoria aplicados a tareas de selección de materiales de revestimiento para cucharas metalúrgicas. *Revista de Metalurgia*, 53(3), 099. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.099>

Martinez Z, F. C. [@mfc3700]. (2020). *Cárcamo de bombeo circular (bombas sumergibles)*.

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=1Xs03dKiezI>

Martínez Yrizar, A., Búrquez, A., & Calmus, T. (2012). Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Región y sociedad*, 24(SPE3), 289-307. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v24nspe3/v24nspe3a10.pdf>



Mateos, C. (2000). La modelación física en las obras hidráulicas. *Ingeniería Del Agua*, 7(1), 55.

<https://doi.org/10.4995/ia.2000.2837>

Mayta Mendoza, M. E. (2018). *Efecto del % finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granuladas de pavimentos flexibles Huancayo 2017*. Edu.Pe.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4657>

Medina, J. R., & Vidal, C. (2014). Design and construction of mound breakwaters. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3074>

MEN. (2006). *Normas Técnicas Colombianas NTC 4595 y NTC 4596*. Gov.Co.

[https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894\\_Archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf)

Mera Párraga, M. J., Zamora-Ledezma, E., & Zambrano Acosta, J. M. (2024). Gestión socioambiental y estrategias para el control de especies macrófitas invasoras en embalses: perspectivas nacionales y regionales. *Revista Científica Multidisciplinaria SAPIENTIAE*, 7(13), 71–102. <https://doi.org/10.56124/sapientiae.v7i13.0006>

Mesa Duarte, Carlos Alfonso, Pinzón Arteaga, Juan Felipe. (2016). *Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América: Evaluación técnico-financiera del uso de nanomateriales en lechadas de cemento para revestimiento de producción en campo*



*Castilla, a nivel de laboratorio. Edu.Co.*

<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/638>

Meza, J. A. B. (2019). *Relación de la estrategia de manejo ambiental asociada a la construcción de represas y la prevención de impactos ambientales negativos en la subcuenca del río Chanchas, 2019*. Edu.Pe. Retrieved September 12, 2024, from [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9346/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Bermudez\\_Meza\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9346/4/IV_FIN_107_TE_Bermudez_Meza_2021.pdf)

Miculax, H., & Eduardo, E. (2016). *Diseño de un sistema de alcantarillado sanitario y un sistema de alcantarillado pluvial para la comunidad El Durazno, Chimaltenango, Chimaltenango* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5674>

Minaya Ingunza, H. J. (2021). *Análisis comparativo de la permeabilidad del concreto incorporando Aditivos Impermeabilizantes Cristalizantes frente a Aditivos Impermeabilizantes Hidrofóbicos en Reservorios, Huánuco, 2019*. Handle.net. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6807>

Mollinedo Morales, S. (2014). Dosificación de Aglomerantes Epóxicos para Concreto Polimérico. *Journal Boliviano de Ciencias*, 10(30), 30–35. <https://doi.org/10.52428/20758944.v10i30.744>



Morales, M. S. R., Mendoza, J. A. S., & Esparza, A. R. (2015). Drenaje Pluvial: Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales. *Cultura Científica y Tecnológica*, 56.

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/686>

Moreira, D. L., Jiménez, E. J., & Pinela, A. R. (2020). Sistema de alcantarillado y aguas residuales en Guayaquil. *HOLOPRAXIS*, 4(1), 082–094.

<https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/holopraxis/article/view/3066>

Morientes, A. (2017, August 28). *Construyendo un futuro sostenible gracias a la norma ISO 21930*. Software ISO; ISOTools. <https://www.isotools.us/2017/08/28/construyendo-futuro-sostenible-norma-iso-21930/>

Munera, J. C., & Ossa, E. A. (2014). Polymer modified bitumen: Optimization and selection. *Materials in Engineering*, 62, 91–97.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.009>

Negre, M. I. (2007). *La presa de Tres Gargantas: una obra monumental*.

Nelson, S. I. T. (2017, April 17). *Factores a tener en cuenta en el diseño hidráulico de tuberías*.

Eadic. <https://eadic.com/blog/entrada/factores-tener-en-cuenta-en-el-diseno-hidraulico-de-tuberias/>



Nengoue, N., & Aurele, U. (2016). *Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas cfd*. 67819. <https://riunet.upv.es/handle/10251/67819>

Nicolau, J. M., & Lasanta Martínez, T. (1988). Repercusiones de la construcción del embalse de Yesa en la utilización del espacio de la Canal de Berdún (Altoaragón). Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/48095/1/Nicolau\\_Yesa\\_1988.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/48095/1/Nicolau_Yesa_1988.pdf)

Norma ISO 9001. (2013, November 7). Software ISO; ISOTools.  
<https://www.isotools.us/normas/calidad/iso-9001/>

Normas ASTM: Lista completa de Normas para Construcción. (2024, January 26). Grupo Torices. <https://grupotorices.com/blog/lista-de-normas-astm-para-construccion/>

NSR-. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE*. Unisdr.org.  
<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

OAS. (2012). *¿Qué son las amenazas naturales?* Oas.org.  
<https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/ch005.htm>

O'Hare, M. (2023, September 27). *Túneles secretos de la Segunda Guerra Mundial en Londres abrirán al público*. CNN en Español. <https://cnnespanol.cnn.com/2023/09/26/tuneles-secretos-londres-segunda-guerra-mundial-trax>



Ortiz, I. A. S., & Cano, R. S. (2007). INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA ACUICULTURA. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola*, 3(3).  
<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1669>

Otero Alvarado, M. T., & Pulido Polo, M. (2020). Historia del canal de Suez y sus tres inauguraciones: relaciones públicas y protocolo en la batalla por la opinión pública. *Estudios de Asia y Africa*, 55(3), 617–632.  
<https://doi.org/10.24201/ea.v55i3.2564>

Palau Ibars, A. (2003). Medidas de gestión y adecuación ambiental de embalses frente a la eutrofia. *Limnetica*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.23818/limn.22.01>

Pardo, M. (1994). El impacto social en las evaluaciones de impacto ambiental: su conceptualización y práctica. *Reis*, 66, 141. <https://doi.org/10.2307/40183721>

Pawlus, P., Reizer, R., & Wieczorowski, M. (2021). Functional importance of surface texture parameters. *Materials*, 14(18), 5326. <https://doi.org/10.3390/ma14185326>

PDH. (2003). Planeamiento y Diseño de Obras Hidraulicas.  
[https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-ras\\_003.pdf](https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-ras_003.pdf)

Peña Mondragón, F., & Lourenço, P. B. (2012). Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas. *Revista de Ingeniería Sismica*, 87, 47–66.



[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2012000200003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2012000200003&script=sci_arttext)

Peñalver Martínez, M. J. (2018). *La génesis de la dársena del puerto de Cartagena a lo largo del siglo XVIII* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://doi.org/10.31428/10317/2782>

Peralta Moreno, M. A. (2019). *Maquinaria y factores de costos relacionados con el procedimiento constructivo de obras hidráulicas*. Cloudfront.net. Retrieved September 12, 2024, from

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/100504823/Maquinaria\\_y\\_factoresd\\_de\\_costos\\_170417-libre.pdf?1680280799=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMAquinaria\\_y\\_factoresd\\_de\\_costos.pdf&Expires=1727387685&Signature=a6yrRYTDsEMlZ3aMwYygl2xEqMymgXmdgclsN-Tfpb8WOWTGRfcQcB7jJEY6sfcYbH2KhW3259dKHshn~J2AW2qRKakQ~S5Cxf4pCBJCqYZo5tvLZbSgtCB4RQnFAi~mR41lmy7LTl3-H8ASM9chim456aDrWjww3EDhfQU-coWhgMJOdE4aPNFwnX63b-uewpjAAQgRSQQP5Qnpz5gqFuC3f3x44CeAYSk6EbKLG95eoJ7JcF3lGmAGNPquF3r08RWTB1x-~gecoRw7pQyh2y4myXH8btSbZDh8zvZUSiopaVAXIq4O6SgbKIj4H8dqrQgQgZMv3CNEfg~NeULfg\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/100504823/Maquinaria_y_factoresd_de_costos_170417-libre.pdf?1680280799=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMAquinaria_y_factoresd_de_costos.pdf&Expires=1727387685&Signature=a6yrRYTDsEMlZ3aMwYygl2xEqMymgXmdgclsN-Tfpb8WOWTGRfcQcB7jJEY6sfcYbH2KhW3259dKHshn~J2AW2qRKakQ~S5Cxf4pCBJCqYZo5tvLZbSgtCB4RQnFAi~mR41lmy7LTl3-H8ASM9chim456aDrWjww3EDhfQU-coWhgMJOdE4aPNFwnX63b-uewpjAAQgRSQQP5Qnpz5gqFuC3f3x44CeAYSk6EbKLG95eoJ7JcF3lGmAGNPquF3r08RWTB1x-~gecoRw7pQyh2y4myXH8btSbZDh8zvZUSiopaVAXIq4O6SgbKIj4H8dqrQgQgZMv3CNEfg~NeULfg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)



Pérez, F., & Manuel, J. (2015). *Aplicación del AutoCAD LAND a proyectos de presas de pantalla impermeable* [Tesina de Topografía Minera].

<http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1742>

Pérez, M. R., González, L. P., & Alfonso, I. (2019). Mejora de la resistencia al desgaste abrasivo de un revestimiento Fe-Cr-Mn-C mediante la adición de V. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(1). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190001.0610>

Perfil, V. T. mi. (2018). *hidroelectrica*. Blogspot.com.

<https://duquecol.blogspot.com/2011/07/hidroelectricas.html>

Piñeiro, J., Maestro, I., Aguirre, F., Ures, P., Torres, D., Anta, J., Puertas, J., & Suárez, J. (2020). *Análisis del funcionamiento de un depósito-aliviadero en el sistema de saneamiento unitario de la aglomeración de Lugo Tema Agua y Ciudad*.

Ingenieriadelagua.com.

<http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2011/pdf/p621.pdf>

Pino, R., Universidad Minuto de Dios, Colombia, Bustos Castañeda, H. Y., Universidad Minuto de Dios, Colombia, Espitia Nery, M. E., & Universidad Minuto de Dios, Colombia. (2018). Caracterización de geotextiles usando microscopia electrónica de barrido. *Revista Mutis*, 8(1), 7–16. <https://doi.org/10.21789/22561498.1372>



Pinto Balcazar, S. L. (2020). *Evaluación de impacto ambiental en el proceso constructivo de obras de agua potable, estudio del caso: Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable del distrito de Quilca - Arequipa*. Edu.Pe.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9821>

Pizarro Tapia, M. R., Flores Villanelo, J. P., Martínez Araya, E., Román Arellano, L. M., & Sangüesa Pool, C. B. (2004). *Monografías: Canales de desviación de aguas lluvias*.

<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/7805>

Porras Velosa, B. S., & Luna Acosta, A. F. (2023). *Evolución a través de la historia del ladrillo como material de construcción* [Escuela Colombiana de Ingeniería].

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2816>

Prakor. (2020, September 28). *Tipos de tuberías para un sistema de riego por goteo agrícola*.

Prakor.com. <https://prakor.com/tipos-de-tuberias-para-un-sistema-de-riego-por-goteo-agricola/>

Prieto Cruz, E, Gualteros Moreno, A y Gaviria Ortiz, J. (2019). Construcción de estructura hidráulica presa tipo india para complementar el canal en el laboratorio de ingenierías de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Villavicencio. Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.12494/8575>



¿Qué es un Rompeolas? (2008, December 17). *Porquecomoydonde.net*.

<https://www.porquecomoydonde.net/2008/12/que-es-un-rompeolas.html>

Quiroz, (2020) Qué es un embalse y para qué se utilizan. (2022, October 13). *Todoagua*.

<https://www.todoagua.es/que-es-un-embalse/>

Quispe Mamani, F. (2023). *Influencia de ceniza de avena y arcilla medicinal calcinado en propiedades físico mecánicas del concreto en obras hidráulicas, Puno - 2023*.

<http://hdl.handle.net/20.500.12692/137560>

Ramírez Arellano, R. (2013). Esclavitud como “regla de la casa” en la industria agrícola del Valle de San Joaquín, California. *Acta Universitaria*, 23, 37–48.

<https://doi.org/10.15174/au.2013.542>

Redondo Mosquera, J. D. (2022). *Estudio de las propiedades mecánicas de concretos tipo uhpc y uhpfrc con alto volumen de vidrio reciclado*. Handle.net.

<http://hdl.handle.net/10584/11356>

Ren, Q., Dong, Y., & Yu, T. (2009). Numerical modeling of concrete hydraulic fracturing with extended finite element method. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 52(3), 559–565. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0058-8>



Reyes, F., & Jhonatan, I. (2020). *Diseño hidráulico de la infraestructura de riego en el Caserío de Sanagorán - Distrito Sanagorán – Sánchez Carrión – La Libertad* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53470>

Reyna, S. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina, Santiago, Reyna, T., Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina, Lábaque, M., & Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. (2013). Los primeros diques de Córdoba, Argentina: Los Tajamares Jesuitas. *AQUA-LAC Volume 10 Number 2 (March 2018)*, 5(1), 60–69. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-1-05>

Rincón, C. D., Gil, J. C., Fabian, C. L., & Caro, C. A. (2016). Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia. *L'esprit Ingénieux*, 7(1). <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1364>

Rizzolo Andres a O. Albanib , C. Schvezov,b,c. (2003). *EVALUACION DE LA RESISTENCIA A LA INTEMPERIE DE MADERAS REVESTIDAS CON PINTURAS EN LA PROVINCIA DE MISIONES. PRIMEROS AVANCES*. Researchgate.net.

Rocha-Vargas. Camila, D., Becerra- Becerra, J. E., Universidad Santo Tomás, Benavente, D., Universidad de Alicante, Cañaveras, J. C., Universidad de Alicante, Gilberto-Costa, A., & Universidad Federal de Minas Gerais. (2019). Estudio preliminar de las características



petrográficas, petrofísicas y comportamiento mecánico de rocas naturales tipo “piedra bogotana” y “mármol royal bronce” utilizadas en construcciones patrimoniales y recientes en Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 18(3), 203–222.

<https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019021>

Rodà, I. (2023, agosto 19). Acueductos, una obra maestra de la ingeniería romana. *National geographic*. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana\\_19151](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos-obra-maestra-ingenieria-romana_19151)

Rodríguez-Sepúlveda, L. J., & Orrego-Alzate, C. E. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: Revisión bibliográfica - Applications of blends of biopolymers and synthetic polymers: Bibliographic review. *Revista Científica*, 2(25), 252. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.rc.2016.25.a9>

Rojas, R., & Steven, A. (2022). *Propiedades físicas y mecánicas de concreto hidráulico modificado con microsilice y cal en revestimiento de canales, Puno 2022*. Universidad César Vallejo.

Ruiz, L., & Lady, K. (2017). *Análisis comparativo en la utilización de la tubería de PVC y tubería de polietileno en el mantenimiento de redes secundarias de agua potable del Asentamiento Humano Canto Chico – S.J.L* [Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/17077>



Romero-Guarín, A y Soler-Rodríguez, L. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/14689>

Salomón, M., Abraham, E., Sánchez, C. M., Rosell, M., Thomé, R., & López y Hugo Albrieu, J. (2018). *ANALISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS PRESAS SOBRE LOS SISTEMAS DE RIEGO. CUENCA DEL RIO MENDOZA*. Com.Ar. [https://asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/analisis\\_impacto.pdf](https://asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/analisis_impacto.pdf)

Salvo, C., & Javier, F. (2012). *Recarga artificial de acuíferos mediante pozos de infiltración*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112265>

Sánchez, J. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Cepal.org. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>

Santaella, L. E., & Marín, L. Y. M. (2001). Conceptos básicos en presas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11(1). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5313884.pdf>

SANTOS AMADO, PEDRO YESID MALAGÓN VILAFRADES, ELCY MARÍA CÓRDOBA TUTA. (2011). *CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS Y PREPARACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS PARA LA FABRICACIÓN DE TEJAS Y LADRILLOS EN LA REGIÓN DE*



*BARICHARA, SANTANDER. Org.Co.*

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532011000300006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000300006&lng=en&tlng=es)

SDA. (2014). *Canal de alivio*. Dreamstime.com. <https://thumbs.dreamstime.com/z/vertedero-del-agua-43661131.jpg?w=992>

Silva, J. D. G. (2020). *CALCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING UTILIZANDO GRAVILLA, ARENA, PIEDRA PEGADA Y TIERRA COMO FONDO MEDIANTE UN CANAL A ESCALA COMO MODELO FÍSICO*. Edu.Co.

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1171&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1171&context=ing_civil)

*Sistema de distribución de agua potable*. (2020). Com.ar. [https://www.aysa.com.ar/Que-Hacemos/Agua-potable/sistema\\_distribucion/sistema\\_de\\_distribucion](https://www.aysa.com.ar/Que-Hacemos/Agua-potable/sistema_distribucion/sistema_de_distribucion)

Solís, M. Á. E. (2015). *ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE REFUERZO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATRIZ POLIMÉRICA Y UNA SOLA FIBRA ONDULADA ORIENTADA EN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA*. Repositorioinstitucional.Mx.

[https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1358/1/PMP\\_D\\_2015\\_Tesis\\_Miguel\\_Escalante.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1358/1/PMP_D_2015_Tesis_Miguel_Escalante.pdf)



Soriano Pérez, T., & Mijares, F. J. A. (1991). Diseño de cárcamos de bombeo rectangulares. *Tecnología y ciencias del agua*, 89–100.

<https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/654>

Suárez Ortega, A. (2022). *MODELACIÓN Y DISEÑO DE POZOS DE INFILTRACIÓN COMO SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)*.

<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/139712>

Tapia Hernández, E., & Tena Colunga, A. (2011). Factores de ductilidad y sobrerresistencia en marcos de acero con contraventeo Chevrón. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 84, 47–68.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2011000100003&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2011000100003&lng=es&tlng=)

Texera Arnal, Y. (2017). El riego agrícola en Venezuela en archivos de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (1936-1960). *Revista Geografía Venezolana*, 58(1), 184–197. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347753792012>

Torales. (2018). *¿Qué Son Los Alcantarillados? ¿Cuál Es Su Funcionamiento? [Fotografía]*. [Fibrasynormasdecolombia.com](https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/sistemas-de-alcantarillado/). <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/sistemas-de-alcantarillado/>

Torcedilla. (2015). *Drenaje Pluvial en Zona Urbana*. Bing.com.

<https://th.bing.com/th/id/OIP.w5reLhhuX5gHOGljCjq62gHaFj?rs=1&pid=ImgDetMain>



Torres, Rafael Agustí. (2006). *MATERIALES Y MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL ANTIGUO EGIPTO*. Cloudfront.net.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/109673005/MATERIALES\\_Y\\_METODOS\\_DE\\_CONSTRUCCION\\_EN\\_EL\\_ANTIGUO\\_EGIPTO-libre.pdf?1703724093=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMATERIALES\\_Y\\_METODOS\\_DE\\_CONSTRUCCION\\_EN\\_EL\\_ANTIGUO\\_EGIPTO-libre.pdf&Expires=1727387120&Signature=Saxiu9tzioyvVf5p7rDu1OuxZ9QccOuKk2iKs9j86f5xqLaMEm9TyCQ9J~4Xpi7nFWcNbIDByARRVCU8byo6GvqDPayALkpA2obf052WcLaju3QxPaNFkHqQU98SmyOzoV-FEj6cXbK9DmqJOwq6niwtbf8XuRxxwGDu33xTNSW~7YZGiFa5rD7NQI0j1O50F963Z9Qq7W~xzmr511s1eNdyW-5iSX5lCA36gJNuyPZ5Rw9VhQTuxKpyeVhd9Ua4Yr4Gc4jmqBLknle0a~d1Ck2N92XP2hXWu2bEv0YJBH7byxqo~xaA6joVspPPKreERFPACIFayo9hThZ1FzJOPw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/109673005/MATERIALES_Y_METODOS_DE_CONSTRUCCION_EN_EL_ANTIGUO_EGIPTO-libre.pdf?1703724093=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMATERIALES_Y_METODOS_DE_CONSTRUCCION_EN_EL_ANTIGUO_EGIPTO-libre.pdf&Expires=1727387120&Signature=Saxiu9tzioyvVf5p7rDu1OuxZ9QccOuKk2iKs9j86f5xqLaMEm9TyCQ9J~4Xpi7nFWcNbIDByARRVCU8byo6GvqDPayALkpA2obf052WcLaju3QxPaNFkHqQU98SmyOzoV-FEj6cXbK9DmqJOwq6niwtbf8XuRxxwGDu33xTNSW~7YZGiFa5rD7NQI0j1O50F963Z9Qq7W~xzmr511s1eNdyW-5iSX5lCA36gJNuyPZ5Rw9VhQTuxKpyeVhd9Ua4Yr4Gc4jmqBLknle0a~d1Ck2N92XP2hXWu2bEv0YJBH7byxqo~xaA6joVspPPKreERFPACIFayo9hThZ1FzJOPw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Torres, Rafael Agustí. (2018). *ACUEDUCTOS ROMANOS*. Cloudfront.net.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56636994/ACUEDUCTOS\\_ROMANOS-libre.pdf?1527079569=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DACUEDUCTOS\\_ROMANOS.pdf&Expires=1727387382&Signature=ctExaI8DKmQ0xjJPklBj3m82Mu74aYoq7b9wn5Rq~yPqp2JtLEFaWH0F73oaZ8a9NnFF0R3Rnk-Ufq6yYEsx8bEWaeXs~lfdimXd8Ge4UwikCU8U2IvK-Q-a058dVSKKmUKbTIMY~ZjrxZSSxTBjROlABlPbPHlpJ4sSMQgER1rz6bqYZ65oCkTbtldw1LoG2AvccJx~zquN7IUhin4KzwwFXjGhxIUH1FERjNC7aPuoEpk-UWldep2s-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56636994/ACUEDUCTOS_ROMANOS-libre.pdf?1527079569=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DACUEDUCTOS_ROMANOS.pdf&Expires=1727387382&Signature=ctExaI8DKmQ0xjJPklBj3m82Mu74aYoq7b9wn5Rq~yPqp2JtLEFaWH0F73oaZ8a9NnFF0R3Rnk-Ufq6yYEsx8bEWaeXs~lfdimXd8Ge4UwikCU8U2IvK-Q-a058dVSKKmUKbTIMY~ZjrxZSSxTBjROlABlPbPHlpJ4sSMQgER1rz6bqYZ65oCkTbtldw1LoG2AvccJx~zquN7IUhin4KzwwFXjGhxIUH1FERjNC7aPuoEpk-UWldep2s-)



[mv4lKhrMjkZw1LfPMLUzmDvhqC3-](#)

[lk6aQLppGXjKB8xsFj~R9Q1B2D8u21wI8gHrn01URUV9S2wZOmn9BscD3lLjQu1hg\\_\\_&Key-](#)

[Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](#)

Tzatchkov, V., & Izurieta Dávila, J. (2020). *Sistema de cómputo para el análisis y diseño óptimo de redes de distribución de agua potable*.

<http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1265>

UNE. (2016). *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico*. Une.org. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056746>

UNE-EN. (2018). *Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación*. Une.org.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060451>

Uscategui, M. V. Y. O. (2013). *BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS*. Org.Co.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532013000500019&lng=en&tlng=es)

[73532013000500019&lng=en&tlng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532013000500019&lng=en&tlng=es)

Vacca Jaren, M. C. (2023). *Recubrimiento de superficies arquitectónicas con piezas cerámicas : Estudio comparativo de la evolución de los materiales, técnicas de fabricación y puesta en obra entre los principales centros productores españoles y otros países, desde la*



*Revolución Industrial hasta la actualidad* (J. Avellaneda Diaz-Grande, Ed.) [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-94445>

Valenzuela, M. (2003). *El asfalto, en la conservación de pavimentos*. Uach.CL.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfciv161a/doc/bmfciv161a.pdf>

Valenzuela, S., & Andrea, X. (2016). *Propuesta de sistema de control de gestión para la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas*.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144375>

Vega, A., Chávez Reyes, J., & Salcedo Arciniega, X. (2010). *Presas-tipos y clases*.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11412/2/Represa.pdf>.

Vélez, L. M. (2010). *Permeabilidad y porosidad en concreto*. Handle.net.

<http://hdl.handle.net/20.500.12622/869>

Venegas Segura, A. A., & Becerra, J. V. (2006, December 1). *Determinación DE la densidad DE materiales con Alta porosidad*. Ebsco.com.

<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A4%3A19016452/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A34393384&crl=c>

VERTEDEROS HIDRÁULICOS. (2019). Emaze Presentations.

<https://app.emaze.com/@AOFFOQLIZ#/1>



- Vidal, C., Losada, M. Á., Medina, R., & Losada, I. (1994). Análisis de la estabilidad de diques rompeolas. *Ingeniería Del Agua*, 1(1). <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2629>
- Vidal J, Montolio, T. S., & De La Fuente Cullell, C. (2001). Resistencia mecánica y porosidad de soportes para pavimentos y revestimientos cerámicos obtenidos con arcillas de Castellón. *Mater. Construcción*, 261, 5–20. <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i261.376>
- Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable. *Ingeniería Del Agua*, 1(3). <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2644>
- Vié, G. (1968). Revestimientos bituminosos de las obras hidráulicas. *Informes de La Construcción*, 20(199), 67–79. <https://doi.org/10.3989/ic.1968.v20.i199.3909>
- Villada, H. S., Acosta, H., & Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*, 12(2), 5–13. <https://doi.org/10.21897/rta.v12i2.652>
- Virginia, G.-E., Sergio, V. Á., Anna, G. G.-M., & Raúl, A. G. (Eds.). (2020). *Paisajes e historias en torno a la piedra*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España).
- Waisman, F. G. (2016). *Obras de Alivio*. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/5006>



Wegmann, A. (1997). Chemical resistance of waterborne epoxy/amine coatings. *Progress in Organic Coatings*, 32(1–4), 231–239. [https://doi.org/10.1016/s0300-9440\(97\)00062-3](https://doi.org/10.1016/s0300-9440(97)00062-3)

Writz, J. (2021). *La presa Hoover: su altura y su construcción*. Ingeoexpert.com.

[https://ingeoexpert.com/2021/02/03/la-presa-hoover-su-altura-y-su-construccion/?srsltid=AfmBOoptlL67a6k0x0UEXIHqMxask9h1-SaliWcGhUM\\_2aUIaCaPP9Vp](https://ingeoexpert.com/2021/02/03/la-presa-hoover-su-altura-y-su-construccion/?srsltid=AfmBOoptlL67a6k0x0UEXIHqMxask9h1-SaliWcGhUM_2aUIaCaPP9Vp)

Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y., & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7), 1774.

<https://doi.org/10.3390/ma13071774>

Xargay, H., Ripani, M., Caggiano, A., Folino, P., & Martinelli, E. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Tecnura*, 23(60), 38–51.

<https://doi.org/10.14483/22487638.14697>

Yamo Herrera, J. (2023). *Diseño del dique enrocado para prevenir inundaciones del río Tumbes, en el margen izquierdo KM 1+260 A1+917, en el sector Tamarindo, distrito de San Jacinto, región Tumbes - 2023* [Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote].

<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/35161>



Yépez, F., & Calderón, F. X. (2014). Diseño de hormigones de alto desempeño: alta resistencia a la compresión, trabajabilidad adecuada y alta resistencia a la erosión - abrasión para obras hidráulicas. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 6(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v6i1.162>

Yoo, D.-Y., & Banthia, N. (2019). Impact resistance of fiber-reinforced concrete – A review. *Cement & Concrete Composites*, 104(103389), 103389. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103389>

Zegarra Basurco, M. R. (2006). *Preparación de compuestos epóxicos*. Handle.net. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/8757>

Zwick. (2022). *Resistencia a la tracción Rm*. Qué es la resistencia a la tracción Rm? <https://zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/resistencia-a-la-traccion/>