

**Avances y Exploraciones en la Mejora de Estructuras Hidráulicas para el Control
del Agua y la Mitigación de Inundaciones.**

Ramon Andres Bastidas Duarte

Monografía para Optar Título de Ingeniero Civil

Luis Fernel Viracachá

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Química

Programa de Ingeniería Civil

Pamplona, Norte de Santander

Contenido

Introducción	5
Capítulo 1. Estudios e Investigaciones de Obras Diseñadas para el Almacenamiento Hídrico y Control de inundaciones	6
Tecnologías Innovadoras para Evaluar y Reforzar la Estabilidad de Presas: Enfoques de Modelado y Prevención de Fracturas Hidráulicas	6
Desarrollo y Evaluación de un Acueducto Compuesto de Acero y Hormigón para Mejorar la Resistencia Sísmica y la Eficiencia de Construcción.....	21
Capítulo 2. Investigaciones y avances Sobre Obras Hidráulicas diseñadas Gestión del Agua.....	27
Estudios Sobre las Propiedades Hidráulicas de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles.	27
Gestión Hidráulica en Infraestructuras: Innovaciones en Canalización y Drenaje.....	35
Capítulo 3. Estudios y Avances en la Optimización y Evaluación de Estructuras Hidráulicas para la Predicción y Gestión de Inundaciones.....	42
Optimización de Infraestructuras Hidráulicas para la Predicción de Inundaciones	42
Revisión de la Influencia de las Obras Hidráulicas en la Hidrología	51
Capítulo 4. Análisis Global de los Avances y Exploraciones en la Mejora de Estructuras Hidráulicas para el Control del Agua y la Mitigación de Inundaciones	54
Conclusión	58
Bibliografía	60

Tabla de Figuras

Figura 1. Sección del cuerpo de la presa (unidad: m).....	7
Figura 2. Diagrama de deformaciones plásticas del cuerpo de la presa.	8
Figura 3. Gráficas de la deformación en dirección axial en función del tiempo, variando según la porosidad.....	10
Figura 4. Modelo simulado.....	11
Figura 5. Generación de modelo geométrico de fisuras 3D.	14
Figura 6. Modelo de simulación mejorado. (a) Proceso de construcción del modelo. (b) Representación gráfica de la presión hidráulica en la grieta.....	15
Figura 7. Periodo de almacenamiento de agua de la presa	16
Figura 8. Sección de la presa	18
Figura 9. <i>Representación de deformación en simulación.</i>	18
Figura 10. Acueducto de hormigón pretensado.	22
Figura 11. Configuración de la sección transversal del acueducto que combina acero y hormigón.	23
Figura 12. Comparación de los métodos de construcción entre un acueducto de hormigón pretensado y un acueducto compuesto de acero y hormigón:.....	25
Figura 13. Ubicación de área de estudio.....	28
Figura 14. (a) zanja de infiltración , (b) estanque de retención	29
Figura 15. Ubicación propuesta para el sistema	30
Figura 16. Respuesta de SUDS a tormenta.....	30
Figura 17. Techos verdes.	33
Figura 18. Diseño de cuneta	36

Figura 19, Sección de cuneta establecida para municipio de Ataco	38
Figura 20 . Ubicación de la sección transversal investigada	40
Figura 21. Levantamiento topográfico del canal analizado.....	41
Figura 22. Información obtenida de la cuenca clarence.	43
Figura 23. Comparación de Métodos para Estimar la Geometría del Río: Datos de Campo, Teledetección y Ecuaciones en Estaciones	43
Figura 24 Zona de estudio Bagoreya, Egipto	45
Figura 25. Velocidades medidas en campo	47
Figura 26. Diseño del modelo numérico 2D.....	48
Figura 27. Diseño de modelo fisico	48
Figura 28. Patron de flujo de descarga	49
Figura 29. Comparación de velocidades.....	49
Figura 30. Ubicación de estudio (Wuajiang)	52
Figura 31. Resultado en los cambios espaciotemporales en los humedales	53

Introducción

Las obras hidráulicas desempeñan un papel crucial en la administración del agua y en la prevención de desastres naturales como las inundaciones. El cual ha sido objeto de una investigación exhaustiva que ha dado lugar a una amplia gama de métodos, modelos y diseños ingeniosos. Este estudio ha puesto especial énfasis en la optimización de estructuras como presas, acueductos, canales y sistemas de drenaje sostenible, con el objetivo primordial de expandir el conocimiento sobre los enfoques de la ingeniería hidráulica.

Una de las principales perspectivas de esta investigación es el destacado uso de nuevos materiales en elementos hidráulicos, con el objetivo de alcanzar una mayor eficiencia y optimización en el diseño. Este enfoque se evidencia especialmente en presas, donde se emplean polímeros para garantizar estabilidad y prevenir filtraciones. Además, se ha observado un avance significativo en modelos de simulación, los cuales permiten diseñar estructuras más seguras y adecuadas, representando una alternativa prometedora a los métodos de refuerzo tradicionales.

En un contexto marcado por las crecientes inundaciones urbanas y eventos climáticos extremos atribuidos al cambio climático y la rápida urbanización, se destaca la importancia de las obras hidráulicas para gestionar el flujo hídrico de manera sostenible con enfoques innovadores, como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, propuesto como soluciones completas para mitigar los impactos negativos de las inundaciones urbanas.

Capítulo 1. Estudios e Investigaciones de Obras Diseñadas para el Almacenamiento

Hídrico y Control de inundaciones

Tecnologías Innovadoras para Evaluar y Reforzar la Estabilidad de Presas: Enfoques de Modelado y Prevención de Fracturas Hidráulicas

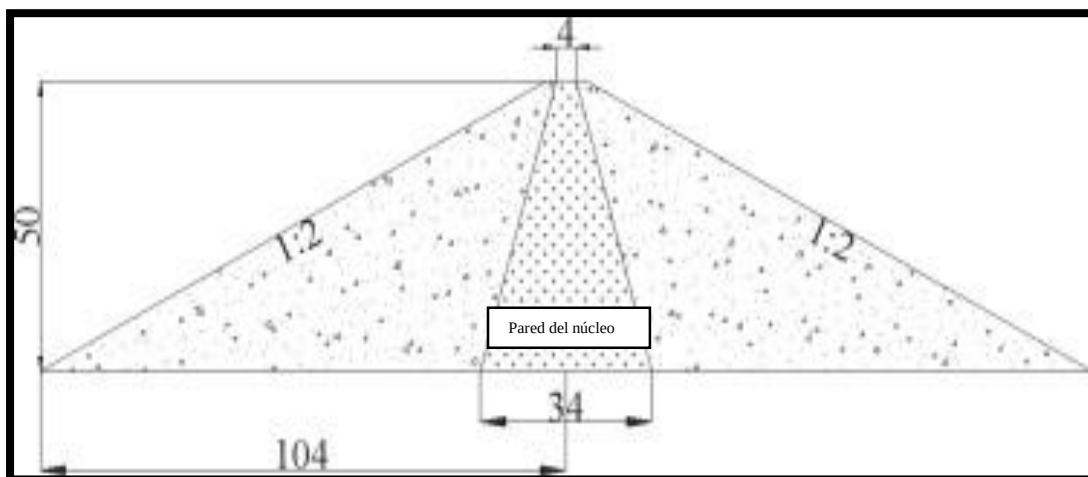
La estabilidad de los taludes en presas de tierra, roca y hormigón es un tema crucial en ingeniería. Las técnicas de refuerzo existentes, como anclajes y micropilotes, son fundamentales para el buen diseño y la seguridad de estas estructuras. Entre las presas, las construidas en hormigón merecen especial atención, ya que tienden a soportar mayores cargas y presentan una respuesta que varía según la velocidad de deformación. Esta variabilidad se debe a las propiedades mecánicas complejas del hormigón bajo cargas explosivas de alta frecuencia y presión. Comprender estas respuestas es esencial para mejorar las técnicas de refuerzo y garantizar la estabilidad y seguridad de las presas frente a eventos inusuales, (Shu et al., 2022).

(Wang et al., 2022) propone un estudio sobre un nuevo material polimérico permeable compuesto por poliuretano para el refuerzo de taludes de presas, con el desarrollo de un modelo de campo para los parámetros del talud después del refuerzo. El objetivo es abordar la prevención de filtraciones en una presa de tierra y roca con muro central, tal como se presenta en la Figura 1 (sección estándar de la presa). Se considera una distribución normal para tres propiedades clave del material: densidad aparente, cohesión y ángulo de fricción interna. Además, se supone la presencia de un canal de filtración debido a la influencia del embalse, aumentando el riesgo de inestabilidad.

Es decir, este estudio se centra en mejorar la estabilidad de las presas de tierra y roca usando un nuevo material compuesto por polímeros que tiene como fin reforzar el talud de la presa que tiene como función retener el agua. Como características de esta presa en el centro

presenta un muro el cual tiene como fin prevenir filtraciones. Es aquí entonces donde se formula el fin de esta investigación debido a que cuando el agua presenta presión sobre la presa, suelen causar formaciones de canales de filtración aumentando el riesgo de que esta sea inestable y falle.

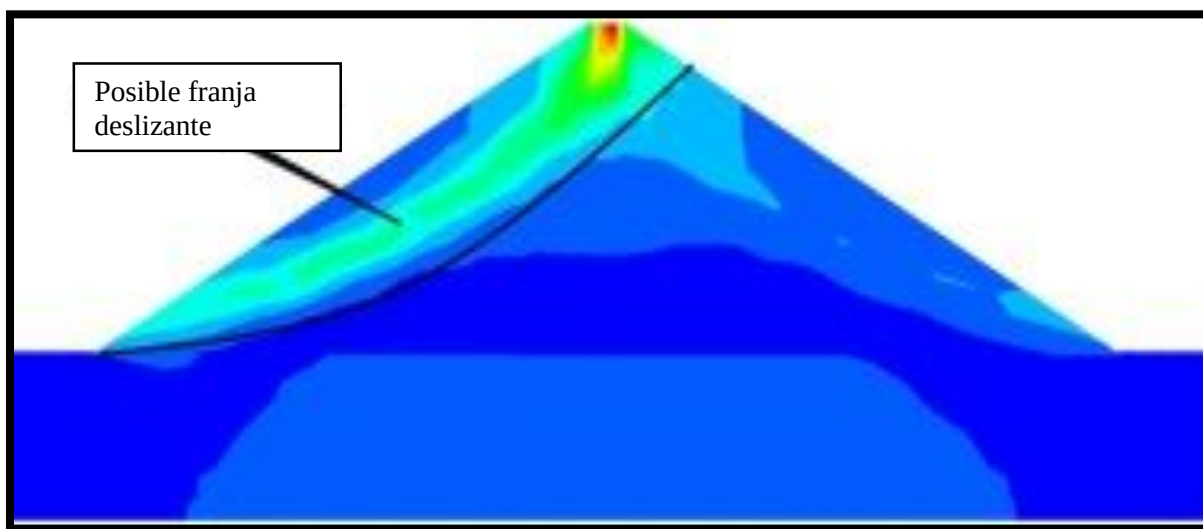
Figura 1. Sección del cuerpo de la presa (unidad: m).



Tomado de (Wang et al., 2022)

De esta manera, se emplea el método de reducción de resistencia del elemento finito para para estudiar cómo se comportan los materiales de la presa cuando su resistencia se reduce, lo que ayuda a simular situaciones de falla. Durante esta simulación, se identifica una zona llamada "zona de deformación plástica" donde el material se deforma de forma permanente debido a la inestabilidad del talud, tal como se presenta en la Figura 2. Dentro de esta área, se encuentran varias superficies donde podría ocurrir un deslizamiento de tierra, (Wang et al., 2022).

Figura 2. Diagrama de deformaciones plásticas del cuerpo de la presa.



Tomado de (Wang et al., 2022)

Proteger la presa contra filtraciones y fortalecer las áreas más vulnerables es muy importante. Para hacerlo, se aplica un proceso en el que se añaden varias capas de un material reforzante. Se extiende lodo de manera uniforme, permitiendo que se asiente y se endurezca, formando así una barrera sólida.

De acuerdo a (Wang et al., 2022), después de reforzar la presa de tierra y roca con lechada permeable de alto contenido de polímero, se observa una mejora significativa en el factor de seguridad de la pendiente de la presa. La disposición más densa de las tuberías de lechada resulta en una reducción de la probabilidad de fallas de la pendiente de la presa. Además, el aumento del volumen de lechada amplía el alcance del refuerzo, lo que incrementa aún más el factor de seguridad y reduce la probabilidad de falla.

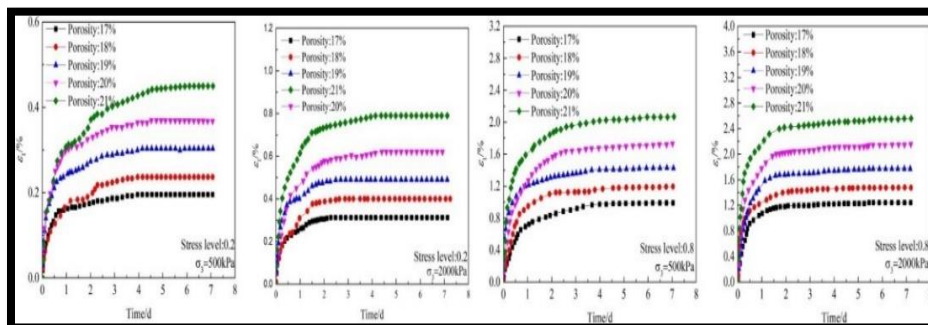
Por otro lado, desde la posición de (Xu et al., 2023) evaluando los problemas que se presentan en las presas de hormigón, manifiesta que durante la operación de las presas de enrocado con cara de concreto (CFRD), la deformación excesiva son problemas importantes que

pueden surgir y afectar su funcionamiento seguro. Estos problemas pueden provocar grietas en el cuerpo de la presa, comprometiendo su capacidad para retener el agua de manera efectiva.

Citando a (Chen et al., 2024), plantea entonces un enfoque mejorado para simular con mayor precisión el comportamiento estructural a largo plazo de las presas de enrocado con cara de concreto (CFRD). Este método se basa en tecnologías de digitalización de la construcción y tiene en cuenta las variaciones espaciales de la construcción con el fin de analizar las variaciones en las características de los materiales en distintas partes de la presa. Proponiendo así el uso del modelo constitutivo elastoplástico de superficie de doble fluencia el cual ayuda a entender cómo el material se deforma y fluye bajo presión, y el modelo de fluencia mejorados, basados en los resultados de pruebas triaxiales de corte y fluencia de materiales de presa con diferentes porosidades para describir mejor cómo los materiales de la presa cambian con el tiempo bajo presión. Estos modelos mejorados ayudan a describir de manera más precisa el proceso de fluencia a largo plazo y las características de deformación de los materiales de enrocado.

Cabe resaltar lo novedoso que suelen ser estos estudios en vista que se proponen ideas de modelos de desarrollo con diferentes variantes en este caso de material, y aun así ser confiables para describir la manera en que se deforman y cambian estos materiales con el tiempo bajo presión, proporcionando así una evaluación más precisa del comportamiento estructural a largo plazo de estas presas.

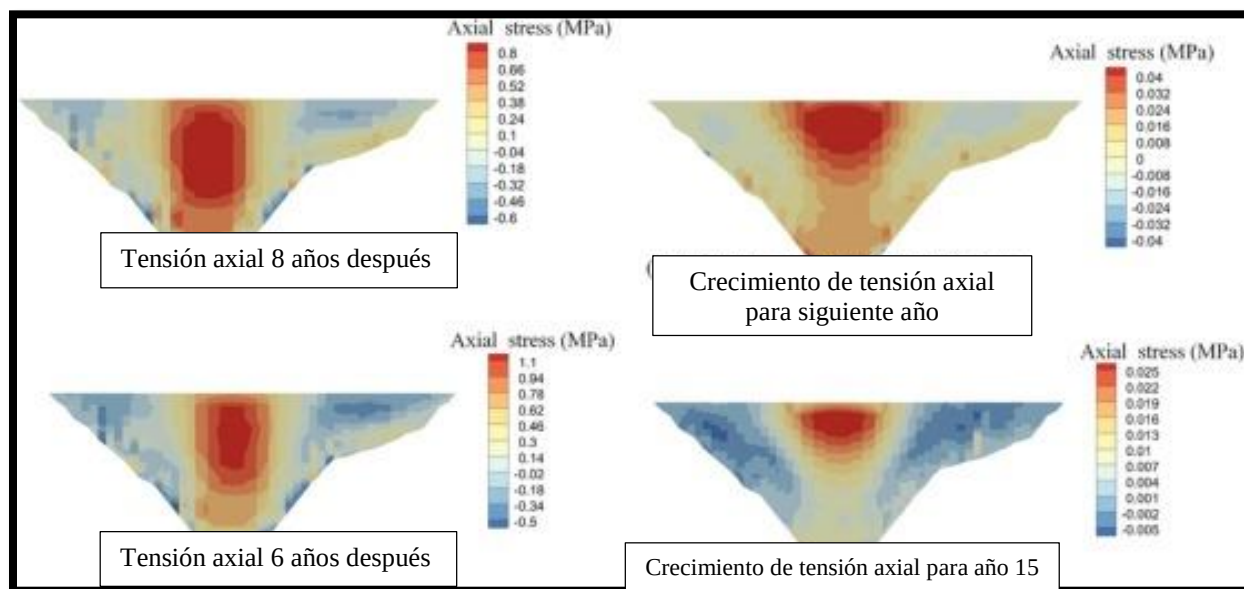
Figura 3. Gráficas de la deformación en dirección axial en función del tiempo, variando según la porosidad



Tomado de (Chen et al., 2024)

La figura 3 ilustra la relación entre el tiempo y la deformación axial (ϵ_a) bajo diferentes condiciones de porosidad y nivel de estrés para un material de relleno de roca. Se puede observar que las deformaciones disminuyen a medida que disminuye la porosidad, lo que indica que los materiales más compactos (con menor porosidad) presentan menos deformación por fluencia. Esto sugiere que la compactación del material de relleno es un factor crucial en su comportamiento bajo carga, ya que las partículas menos compactas (con mayor porosidad) tienden a deslizarse y deformarse más fácilmente bajo fuerzas externas (Chen et al., 2024).

Asimismo, se establecen modelos de regresión que relacionan la calidad de compactación de los materiales de la presa con los parámetros de los modelos mejorados. Esto permite una estimación rápida de los parámetros del modelo mejorado en cualquier ubicación dentro de la presa utilizando tecnología de construcción digital y por último un método de simulación numérica refinado para analizar el comportamiento estructural a largo plazo de las presas de enrocado con cara de concreto (CFRD). Este método considera las diferencias espaciales en la calidad real de la construcción y mejora los modelos constitutivos utilizados en la simulación, (Chen et al., 2024).

Figura 4. Modelo simulado

Tomado de (Chen et al., 2024)

Grafico a. Este gráfico muestra la distribución del estrés axial después de 8 años. Los colores indican diferentes niveles de estrés, donde el rojo representa áreas de mayor estrés (hasta 0.8 MPa) y el azul áreas de menor estrés (hasta -0.6 MPa). Se observa que el mayor estrés axial se concentra en el centro de la estructura, disminuyendo hacia los bordes.

Grafico b. Muestra la tasa de crecimiento del estrés axial durante el octavo año. Los colores indican la magnitud del cambio en el estrés, con el rojo representando un aumento y el azul una disminución. Se nota un incremento en el estrés axial principalmente en el centro de la estructura.

Grafico c. Esta muestra la distribución del estrés axial después de 15 años. Aquí, los niveles de estrés son más altos, llegando hasta 1.1 MPa en el centro. Esto sugiere una acumulación continua de estrés axial en el tiempo, especialmente en la parte central de la estructura.

Grafico d. Este gráfico muestra la tasa de crecimiento del estrés axial durante el décimo quinto año. Los incrementos en el estrés son menos pronunciados que en el gráfico (b), pero aún se observa un aumento en el estrés en el centro, aunque a un ritmo más lento comparado con el octavo año.

De acuerdo a lo observado en la figura 4 con el modelo simulado se determinó que, a lo largo del tiempo, las tensiones axiales en la cara de hormigón de la presa aumentan gradualmente, especialmente en el centro. Esto sugiere que, con el paso del tiempo, la presión ejercida sobre la cara de hormigón también aumenta, lo cual es un fenómeno esperado en estructuras sometidas a cargas constantes y almacenamiento prolongado de agua. Además, se observa que el ritmo de crecimiento anual de las tensiones axiales disminuye con el tiempo, lo que indica que el incremento en la presión sobre el hormigón se va desacelerando con el transcurso de los años el cual puede estar relacionado con el comportamiento del material y su capacidad para resistir cargas a largo plazo. Es importante destacar que, aunque las tensiones axiales aumentan con el tiempo, se mantiene dentro del rango de resistencia del concreto. Esto sugiere que la estructura sigue siendo capaz de soportar las cargas aplicadas y que el material de construcción utilizado conserva su integridad y resistencia a lo largo del período analizado (Chen et al., 2024).

Estos resultados proporcionan información valiosa para comprender el comportamiento a largo plazo de la presa y para tomar decisiones informadas en términos de mantenimiento y gestión de la estructura a lo largo de su ciclo de vida. En vista del desarrollo de numerosos modelos y técnicas de regresión, se ha determinado una relación entre la compactación de los materiales de la presa y los parámetros de modelos mejorados. Esto permite estimar rápidamente dichos parámetros en cualquier parte de la presa mediante tecnología digital. Además, es

fundamental destacar el uso de métodos de simulación numérica para analizar el comportamiento de las presas a lo largo del tiempo. Estos métodos consideran las diferencias en la calidad de construcción en distintas áreas de la presa, lo que mejora las estimaciones de los modelos utilizados para la simulación. El presente estudio ejemplifica este enfoque, demostrando que, aunque las tensiones aumentan con el tiempo, se mantienen dentro de un rango que el hormigón puede soportar. Así, la estructura conserva su posición y el material mantiene su resistencia e integridad, (Chen et al., 2024).

Con esto, el objetivo de garantizar la seguridad estructural, es crucial abordar el fenómeno de las grietas que tienden a desarrollarse en las presas de hormigón durante su construcción y operación. Estas grietas, especialmente cuando se manifiestan en la parte superior de la presa, representan un riesgo significativo de fractura hidráulica, lo que podría comprometer la integridad de toda la estructura de la presa (Chen et al., 2024).

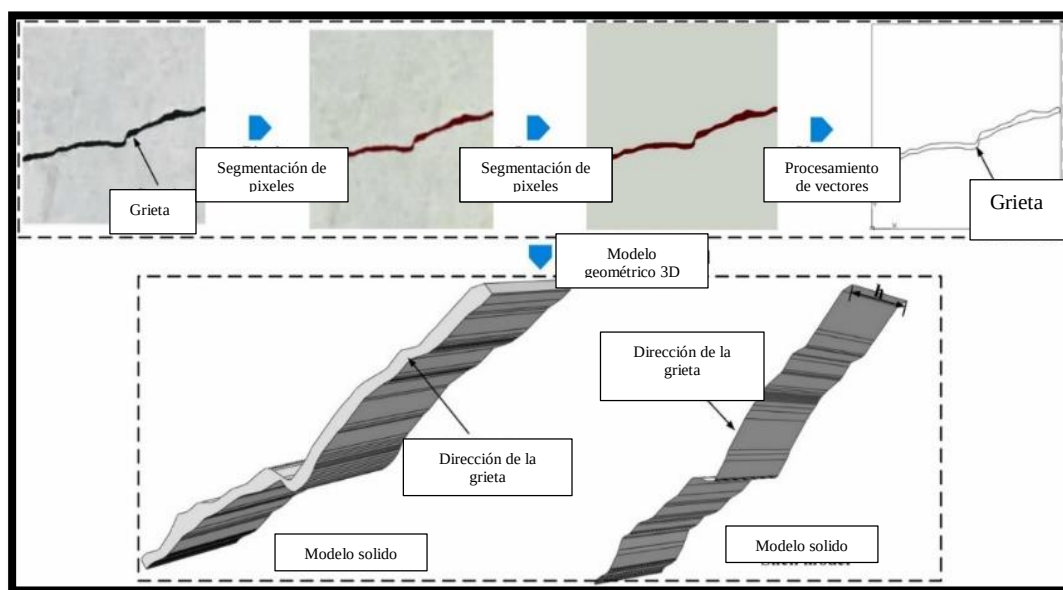
Teniendo en cuenta que la presencia de grietas ha desencadenado una serie de desafortunados incidentes, como el trágico colapso de la presa de St. Francis en Estados Unidos, ocurrido apenas cinco días después de que el nivel del agua alcanzara su nivel esperado. Pues una grieta significativa se había formado en la base de la superficie aguas arriba de la presa de St. Francis, lo que desencadenó su falla cuando fue sometida a una alta presión de agua., donde las estructuras de presas de hormigón han mostrado signos preocupantes de grietas (Rogers, 2006).

En busca de una solución a esta problemática Min et al., (2024) propone enfoque innovador para abordar el problema de las grietas en presas de hormigón, que pueden comprometer su seguridad. En vista de que tradicionalmente, las tecnologías de identificación de grietas, pruebas no destructivas utilizadas para inspeccionar y evaluar materiales, componentes o

ensamblajes sin alterar su utilidad futura y análisis estructural se han desarrollado de manera independiente, lo que dificulta su integración para un análisis completo de las grietas en presas.

De este modo, el enfoque propuesto combina la tecnología de identificación inteligente con métodos refinados de elementos finitos (FEM) para modelar y simular la resistencia a la fractura hidráulica de grietas reales en presas de hormigón. Utiliza tecnologías de procesamiento de imágenes y pruebas no destructivas para identificar y extraer la dirección y profundidad de las grietas reales, creando luego un modelo geométrico 3D de las mismas, (Min et al., 2024).

Figura 5. *Generación de modelo geométrico de fisuras 3D.*



Tomado de (Min et al., 2024)

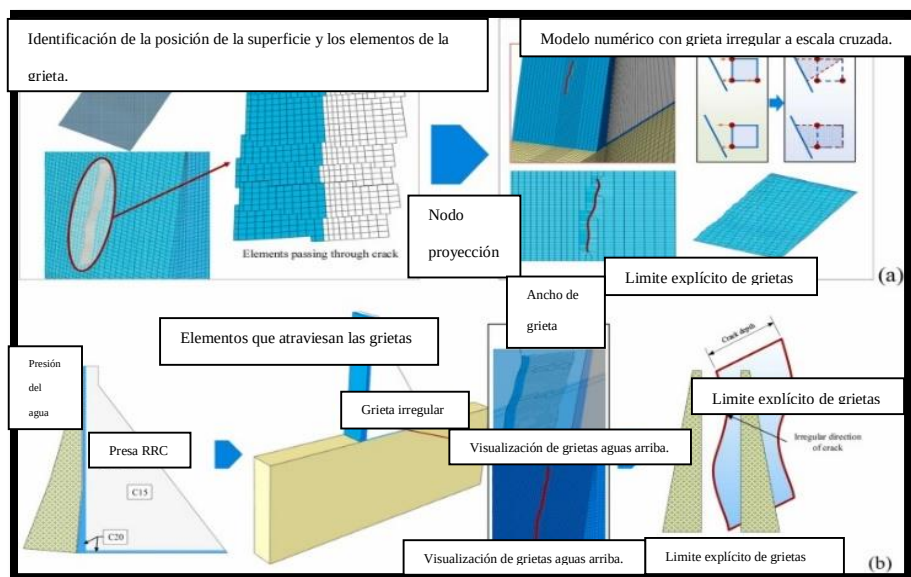
Considerando a Min et al., (2024) postula que debido a problemas como la mala calidad en la construcción, el mantenimiento insuficiente y medidas inadecuadas de control de temperatura, las presas de hormigón son propensas a desarrollar grietas en sus superficies. Estas grietas, aunque generalmente pequeñas en ancho, representan un riesgo significativo, especialmente aquellas ubicadas en la parte superior de la presa, ya que pueden extenderse hacia grietas más profundas bajo la presión del agua, ocasionando fracturas hidráulicas y

comprometiendo la integridad de la estructura de la presa. Considerando que los métodos convencionales para analizar este tipo de fracturas hidráulicas no logran capturar con precisión la forma real de las grietas, lo que limita la capacidad de realizar simulaciones en ingeniería. En este contexto, se propone un método que permite analizar con mayor precisión la resistencia a la fractura hidráulica de grietas reales en presas de concreto tal como se ilustra en la figura 6, (Min et al., 2024).

a) Identificación de la posición de la superficie de grieta, y elementos que son atravesados. Se muestra la proyección de nodos en la grieta para definirla por medio de los modelos numéricos.

b) Representación gráfica de la presión hidráulica en la grieta donde se incluye la estructura, las grietas y la presión hidráulica. Este enfoque proporciona un soporte valioso para evaluar la calidad de la construcción y tomar decisiones informadas sobre reparaciones y refuerzos necesarios en las presas de hormigón en el terreno.

Figura 6. Modelo de simulación mejorado. (a) Proceso de construcción del modelo. (b) Representación gráfica de la presión hidráulica en la grieta.



Tomado de (Min et al., 2024)

Conforme a ello de acuerdo con las observaciones detalladas en el modelo simulado (no se detectaron fracturas hidráulicas ni fugas) la presa comenzó a retener agua en noviembre de 2023, según se ilustra en la Figura 7. Después de aproximadamente dos meses de vigilancia continua, no se observó fractura hidráulica en la grieta aguas arriba a la profundidad detectada, ni se detectó fugas en el corredor interno de la estructura de la presa. Por lo que indica que la presa mantiene una integridad estructural satisfactoria y los datos recopilados durante el monitoreo respaldan la precisión de los resultados obtenidos en la simulación, ((Min et al., 2024).

Figura 7. *Periodo de almacenamiento de agua de la presa*



Tomado de (Min et al., 2024)

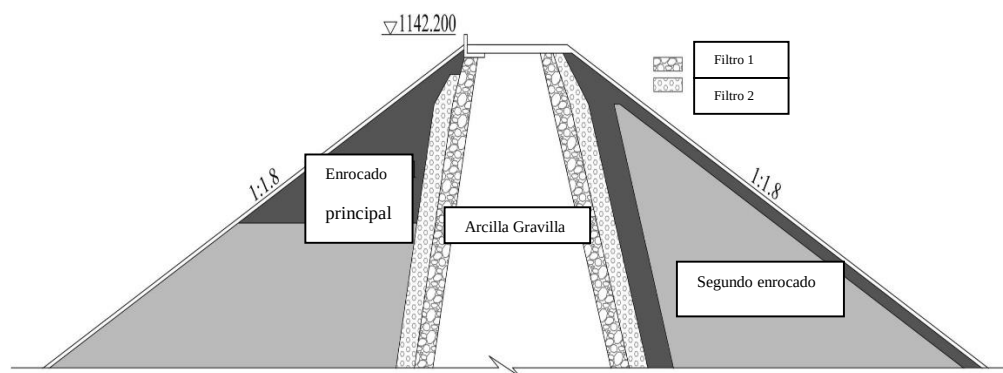
La evaluación y modelado de la estabilidad de presas es crucial en un contexto de rápido aumento de las actividades humanas y el exacerbado impacto del calentamiento global. A medida que estos factores continúan afectando la infraestructura crítica, se vuelve indispensable

contar con métodos de evaluación rápidos y precisos para garantizar la seguridad de las presas frente a deslizamientos de tierra.

Las presas de tierra y relleno de roca se utilizan ampliamente en la producción de energía hidroeléctrica limpia debido a sus ventajas: bajo costo y alta adaptabilidad al sitio. Por lo tanto, es esencial garantizar su funcionamiento seguro. Para esto, la metodología de elementos finitos (FEM) puede aplicarse para modelar los comportamientos estructurales de la presa y evaluar su seguridad, siendo esto importante ya que estos comportamientos se ven significativamente afectados por la gradación del relleno y la litología del material, es decir, Una mezcla adecuada de diferentes tamaños de partículas puede mejorar la compactación y la estabilidad, mientras que las características litológicas del relleno determinan su resistencia y comportamiento bajo diversas condiciones. (Chen & Liu, 2019), (Zhang & Zhou, 2021).

Para darle seguimiento al desarrollo a este modelo planteado de elementos finitos aleatorios de presa (Feng et al., 2023) plantea la valuación de una presa rellena de roca con núcleo de arcilla y muro. Ubicada en China el cual en un principio se observó grietas en la cresta cuando se daba un aumento en el nivel del agua, llevando a hacer inspección en campo para esclarecer de donde provenían estas fallas, notándose mala calidad del relleno, contaminación y falta de homogeneidad entre la arcilla y el material de filtro, estas irregularidades afectaron la calidad del suelo y contribuyeron a la discreción e incertidumbre en las respuestas estructurales de la presa al pasar el tiempo. La representación de la presa está demostrada en la figura 8.

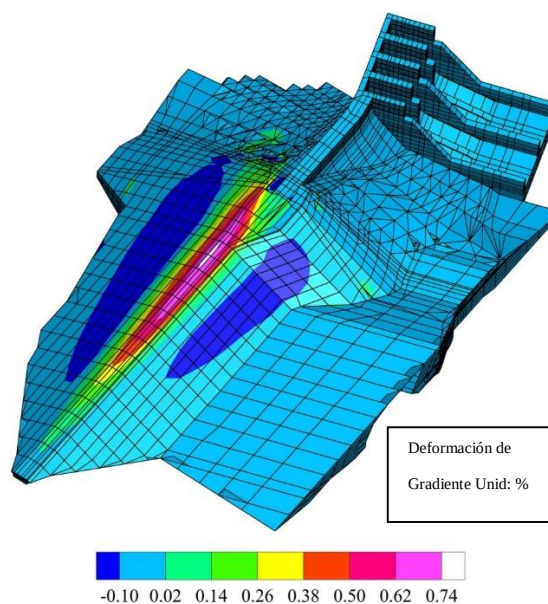
Figura 8. Sección de la presa



Tomado de (Feng et al., 2023)

Para evaluar la confiabilidad y seguridad de la presa, se analizaron las respuestas estructurales mediante simulaciones de elementos finitos aleatorios con campos aleatorios durante el período de embalse, incorporando procedimientos claves como para la confiabilidad de esta simulación, estableciendo puntos de muestreo, análisis comparativos y observaciones mediante estos resultados, estableciendo así una evaluación detallada de la seguridad estructural de la presa, y representando los puntos más críticos de la presa como se ilustra en la figura 9.

Figura 9. Representación de deformación en simulación.



Tomado de (Feng et al., 2023)

Luego de considerar el método teniendo en cuenta las deformaciones, es importante resaltar la incorporación de las características estadísticas de los parámetros del suelo, que varían durante el progreso de la construcción. Estas características juegan un papel crucial en el comportamiento a largo plazo de la presa debido a que una mala construcción y mal compactación del relleno, influiría al degrado de la presa. Además, se debe analizar el diseño de medición óptimo, incluyendo el intervalo de muestreo y la cantidad en cada capa de relleno de la presa, para mejorar la precisión y reducir costos. También es fundamental realizar más análisis de fallos de pendiente en futuros estudios para asegurar la estabilidad y la seguridad de la presa, (Feng et al., 2023).

Los métodos de inteligencia artificial (IA) han mostrado un su potencial en la predicción de resultados dentro de la ingeniería. Estas técnicas permiten prever diversos parámetros a partir de pocos datos de entrada, y básicos conocimientos sobre la metodología. La ingeniería geotécnica, en particular, ha adoptado exitosamente la IA en áreas como la construcción de carreteras, la excavación de túneles, la mecánica de rocas, la dinámica de suelos y la edificación de presas. Además, se han llevado a cabo múltiples estudios sistemáticos centrados en la estabilidad de las presas, subrayando la utilidad de la IA en este campo (Koopialipoor et al., 2020), (Baghbani et al., 2024).

las técnicas de inteligencia artificial (IA) encuentran aplicaciones en una amplia gama de campos, donde su capacidad para mejorar la eficiencia y apoyar la toma de decisiones humanas es altamente valorada. Investigaciones previas han investigado cómo estas técnicas pueden emplearse para predecir la estabilidad de las presas, destacando su potencial para revolucionar este ámbito (Bai et al., 2015).

El estudio de Li et al. (2024) destaca la efectividad de los modelos de IA en comparación con los enfoques tradicionales basados en la ingeniería geotécnica y la geología. Los métodos tradicionales, que incluyen análisis analíticos, numéricos y ensayos in situ y de laboratorio, aunque bien establecidos, presentan limitaciones en cuanto a la rapidez y precisión en la predicción de la estabilidad de las presas.

En contraste, los modelos de IA presenta siete factores de entrada específicos: altura de la presa, longitud de la presa, ancho de la presa, volumen de la presa, volumen del lago represado, área de captación y material de la presa. En el cual la salida de estos modelos es una evaluación de la estabilidad de la presa. Li et al. (2024) subraya la importancia de los factores de entrada utilizados en sus modelos de IA. La facilidad de acceso y medición de estos factores –altura, longitud, ancho y volumen de la presa, volumen del lago represado, área de captación y material de la presa– resalta el potencial de estos modelos para ser implementados de manera rápida y eficiente, destacando que la capacidad de estos modelos para proporcionar predicciones precisas y rápidas es fundamental para la gestión proactiva y la mitigación de riesgos en la infraestructura de presas.

Desarrollo y Evaluación de un Acueducto Compuesto de Acero y Hormigón para Mejorar la Resistencia Sísmica y la Eficiencia de Construcción

El acueducto es una estructura elevada utilizada para transportar agua sobre terrenos como canales, valles, depresiones y caminos. Estos pertenecen a una familia de vigas de canal anchas, (Alawneh et al., 2016).

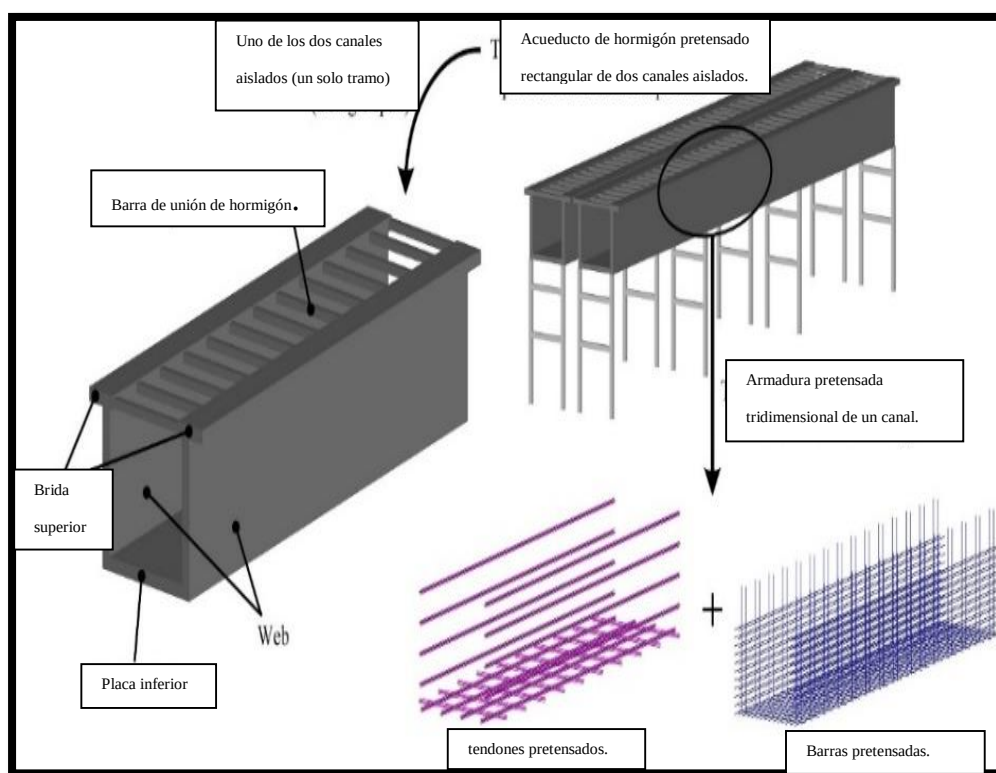
Según T. Peng et al. (2024), para abordar la problemática de la escasez de recursos hídricos en diversas regiones, se han implementado proyectos de desviación de agua a nivel mundial. Los acueductos pretensados, como infraestructuras esenciales, se utilizan comúnmente en proyectos de transferencia y desviación de agua entre regiones. Sin embargo, debido a su estructura delgada, estos acueductos son vulnerables a daños y colapsos bajo cargas explosivas. A continuación, en el siguiente estudio considera esta vulnerabilidad, al proponer alternativas de diseño para acueductos, con el fin de mejorar su resistencia estructural y asegurar su integridad ante tales cargas.

Los diseños de estructuras de acueductos de gran amplitud se distinguen por una sección transversal de dimensiones amplias, lo que conlleva un peso propio significativo, además del peso del agua transportada. Estos tipos de acueducto en particular, presentan un grosor de las paredes considerable, lo que aumenta significativamente la carga estructural total. Este factor, combinado con el peso del agua transportada, hace que los acueductos de gran tamaño sean especialmente susceptibles a los efectos de los terremotos. Por ello, se han realizado varios estudios de investigación con el fin de aumentar nuestra comprensión sobre cómo se comportan dinámicamente los acueductos de hormigón pretensado durante eventos sísmicos, (Peng et al., 2020).

La mayoría de los principales sistemas de abastecimiento de agua utilizan acueductos contruidos con estructuras de hormigón pretensado, estos acueductos incorporan tendones pretensados para prevenir el agrietamiento del hormigón, lo que podría ocasionar pérdidas de agua. Para simplificar el análisis computacional, el cuerpo del acueducto se divide en secciones longitudinales y transversales planas, que pueden ser evaluadas utilizando principios de mecánica estructural (Peng et al., 2020).

De acuerdo a la figura 10 es mostrado los refuerzos de un acueducto de hormigón pretensado en la sección del acueducto encargada de transportar agua en donde se destacan las técnicas utilizadas para prevenir el agrietamiento y asegurar la integridad de esta estructura como los cables de acero y barras de acero.

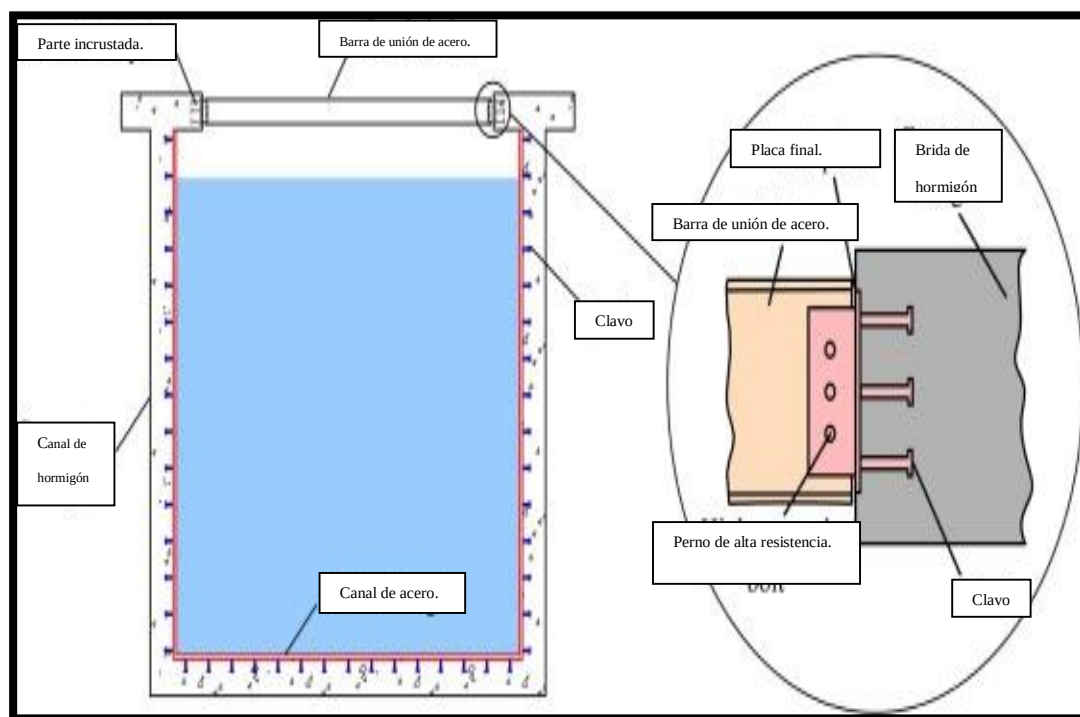
Figura 10. *Acueducto de hormigón pretensado.*



Tomado de (Xiao et al., 2021a)

(Xiao et al., 2021a) propone un diseño innovador para un acueducto que combina las propiedades del acero y el hormigón, con el objetivo de mejorar la resistencia estructural y la durabilidad del sistema. Este diseño implica la construcción de una cubeta principal fabricada en acero, la cual servirá como canal de conducción del agua. Esta cubeta estará conectada a una cubierta superior de hormigón, que proporcionará protección adicional y estabilidad estructural al conjunto, como se presenta en la figura 11.

Figura 11. Configuración de la sección transversal del acueducto que combina acero y hormigón.



Tomado de (Xiao et al., 2021a)

A diferencia del diseño anterior que se basa en el hormigón pretensado con refuerzos internos, este diseño utiliza un canal principal de acero el cual proporciona una alta resistencia a la tracción y es menos susceptible a grietas conectada a una canal de superior de hormigón

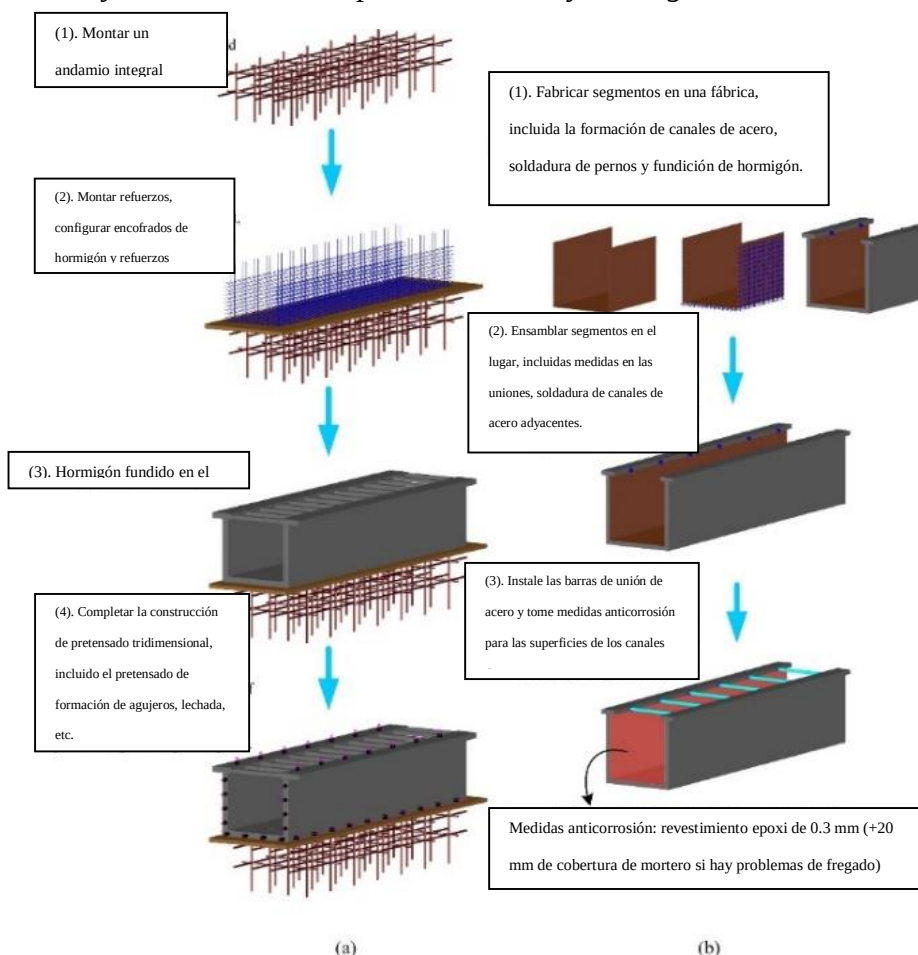
mejorando la estabilidad estructural, utilizando en esto varios elementos de conexión para asegurar la integridad de la estructura, ((Xiao et al., 2021a).

Según Xiao et al. (2021), se considera que el acueducto compuesto de acero y hormigón puede ser fabricado de forma modular en una instalación y luego transportado al lugar de instalación. Este proceso de construcción se compara con el de los acueductos de hormigón pretensado, como se muestra en la Figura 12. En este método, el acueducto se divide en segmentos de longitud adecuada, los cuales son prefabricados en una fábrica.

Inicialmente, se fabrica y procesa el canal de acero, sobre la cual se sueldan los montantes en la pared exterior. Posteriormente, se colocan la jaula de refuerzo y las barras de unión en su posición adecuada, seguido del vertido de hormigón alrededor del canal de acero para formar el segmento del acueducto, ((Xiao et al., 2021a)..

Una vez completados los segmentos, son transportados al sitio de instalación. Allí, los canales de acero pueden ser unidas mediante soldadura, y se coloca la cinta de post-vertido entre las cubetas de hormigón. En esta etapa, se lleva a cabo el procedimiento de sellado de las juntas para evitar fugas. Por último, se instalan las barras de acero y se implementan medidas de protección contra la corrosión en la pared interior de la placa de acero. Este enfoque de construcción modular permite una mayor eficiencia y supervisión de calidad en el proceso de instalación del acueducto compuesto, (Xiao et al., 2021a).

Figura 12. Comparación de los métodos de construcción entre un acueducto de hormigón pretensado y un acueducto compuesto de acero y hormigón:



Tomado de (Xiao et al., 2021b)

Para estudiar el comportamiento estructural de este nuevo tipo de acueducto, se desarrolla un modelo detallado utilizando el software de elementos finitos ABAQUS. Los resultados de este análisis revelan que las tensiones longitudinales son mayores que las tensiones transversales, y se observa un retraso significativo en el corte en la placa inferior de acero. Por lo tanto, los parámetros de diseño se ven influenciados principalmente por la tensión longitudinal en la placa inferior de acero, ((Xiao et al., 2021a).

Según Xiao et al. (2021a), el nuevo tipo de acueducto compuesto de acero y hormigón representa un avance significativo sobre los acueductos de hormigón pretensado convencionales.

Este diseño innovador no solo supera sus principales desventajas, como el peso elevado y la vulnerabilidad a grietas y filtraciones a largo plazo, sino que también ofrece una solución más liviana, hermética y resistente.

Una de las ventajas destacadas es la notable reducción en el peso propio del acueducto compuesto en comparación con los acueductos de hormigón pretensado. Esto se logra mediante el uso de paredes más delgadas y la eliminación del complejo proceso de pretensado tridimensional, así como la reducción en la cantidad de hormigón colado in situ. Este enfoque no solo optimiza los costos de construcción, sino que también acelera el proceso de instalación. Además, el comportamiento estructural del acueducto compuesto es notable por su capacidad para redistribuir esfuerzos. Esta característica es crucial para mejorar la resistencia general de la estructura, mitigar la propagación de grietas y reducir el impacto de cargas dinámicas, como las fluctuaciones en el nivel de agua dentro del acueducto. Este aspecto no solo mejora la durabilidad a largo plazo, sino que también contribuye a mantener la integridad estructural bajo condiciones variables y exigentes, (Xiao et al. 2021a).

Capítulo 2. Investigaciones y avances Sobre Obras Hidráulicas diseñadas Gestión del Agua.

Estudios Sobre las Propiedades Hidráulicas de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles.

La expansión y desarrollo de nuevas áreas urbanas llevan a transformaciones significativas en el uso del suelo, lo cual conlleva a desastres severos por inundaciones. Este fenómeno ocurre debido a las modificaciones en los patrones naturales de drenaje y absorción del suelo, exacerbados por la impermeabilización de superficies con construcciones y pavimentación. Estos cambios incrementan el flujo superficial de agua, y reducen la capacidad del suelo para retener agua, aumentando así el peligro de inundaciones súbitas y generalizadas, (Li et al., 2023), (Shu et al., 2022).

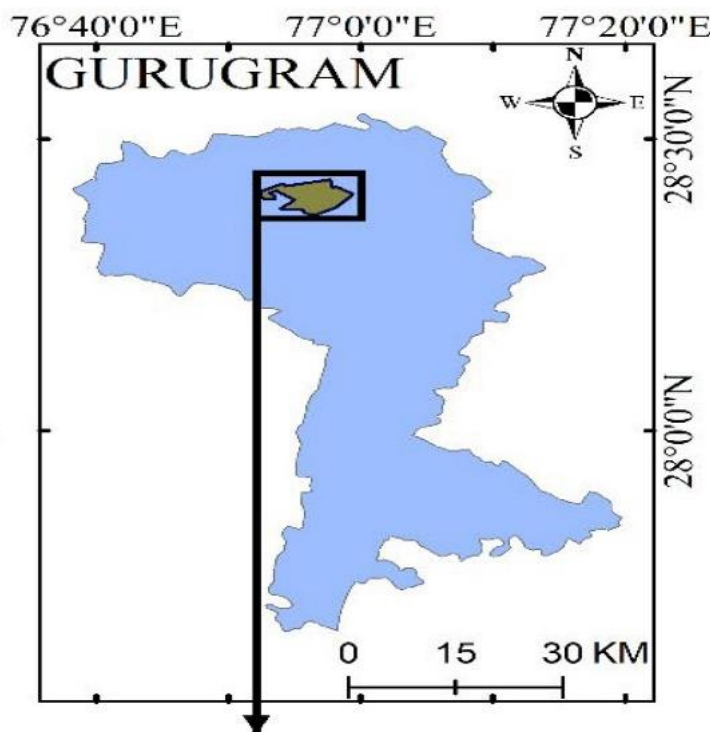
En la actualidad, se observa una creciente adopción de medidas de infraestructura verde como jardines de lluvia, instalaciones de biorretención, pavimentos permeables y techos verdes en el contexto del desarrollo y la construcción urbana. Estas soluciones son implementadas con el propósito de reducir los efectos adversos del desarrollo urbano en el ciclo natural del agua. Por ejemplo, los jardines de lluvia actúan como áreas de recolección de agua pluvial, permitiendo que el agua se infiltre naturalmente en el suelo en lugar de transformarse en flujo superficial. De manera similar, las instalaciones de biorretención utilizan plantas y medios filtrantes para retener y tratar las aguas pluviales antes de liberarlas gradualmente al sistema de drenaje urbano. Los pavimentos permeables están diseñados para permitir que el agua se filtre a través de ellos hacia el suelo subyacente, reduciendo así la escorrentía y ayudando a recargar acuíferos subterráneos (Zhou et al., 2019)

El término "inundación urbana" ha ganado relevancia debido a la expansión urbana y el cambio climático, exacerbados por deficiencias en los sistemas de drenaje. Las inundaciones pueden tener múltiples causas, como el diseño deficiente o el deterioro de los sistemas de

drenaje, eventos de lluvia intensa, aumento de la escorrentía superficial y la saturación de recursos naturales de almacenamiento, como depresiones y embalses. Por lo tanto, es crucial encontrar soluciones para mitigar los efectos de las inundaciones urbanas (Quan et al., 2013). Además, según Zhou et al. (2018), el riesgo de inundaciones está en aumento en numerosas regiones del mundo, especialmente en áreas metropolitanas densamente pobladas con activos importantes.

En vista a estos eventos (Guptha et al., 2022), realiza un estudio el cual evalúa el rendimiento de los sistemas de drenaje urbano (SUDS) en la ciudad de Gurugram, India figura 13, ante la creciente frecuencia de inundaciones urbanas debido a la rápida urbanización y los extremos climáticos.

Figura 13. Ubicación de área de estudio



Tomado de (Guptha et al., 2022)

Basándose por medio de un modelo para la administración de aguas pluviales (SWMM) para analizar la respuesta de los SUDS a una tormenta de diseño con un intervalo de retorno de 5 años, considerando el aumento de la impermeabilidad y la intensidad de las precipitaciones como factores clave, teniendo en cuenta las características del suelo, la elevación y la pendiente del área de estudio, así como los datos sobre los sistemas de drenaje existentes, y elaborando un diseño para la implementación de sistemas de drenaje sostenible con el fin de gestionar de manera efectiva el entorno urbano. Con el fin de evaluar dos componentes específicos mostrados en la figura 14. Las zanjas de infiltración el cual está constituido por zanjas poco profundas llenas de materiales permeables, como grava o materiales porosos, que posibilitan la infiltración progresiva del agua en el suelo y los estanques de retención hechos típicamente de concreto, polietileno de alta densidad (HDPE), geomembranas u otros materiales impermeables que evitan la filtración del agua, (Quan et al., 2013).

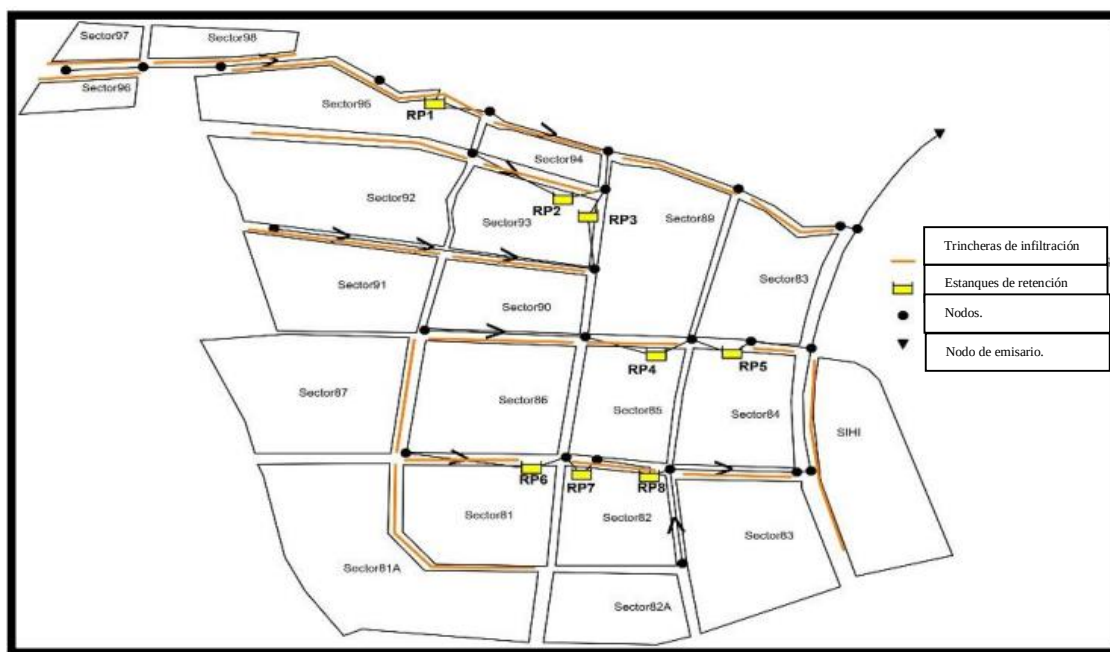
Figura 14. (a) zanja de infiltración, (b) estanque de retención



Tomado de (Guptha et al., 2022)

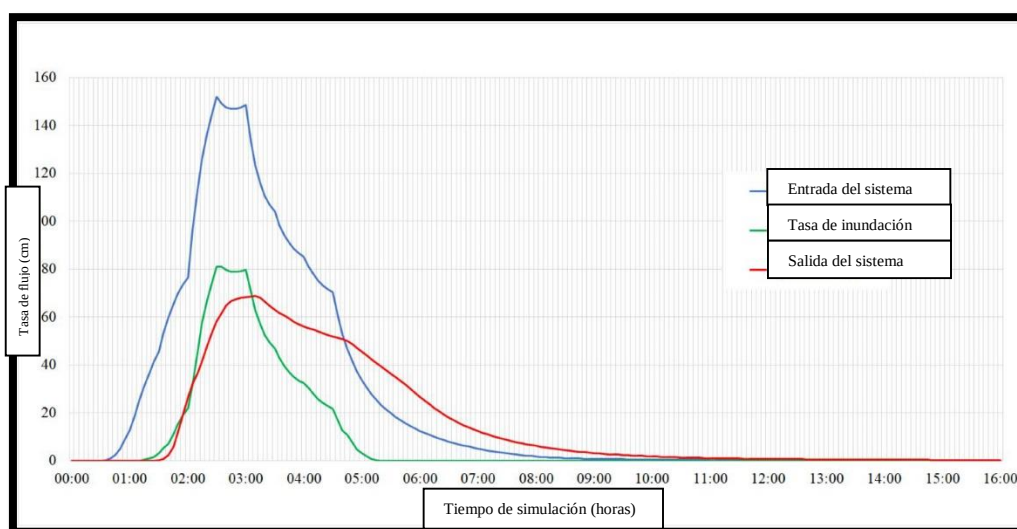
Una vez de la introducción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en puntos estratégicos determinados de la zona, se dio paso a la evaluación del sistema de drenaje.

Figura 15. Ubicación propuesta para el sistema



Tomado de (Guptha et al., 2022)

Figura 16. Respuesta de SUDS a tormenta



Tomado de (Guptha et al., 2022)

Por lo que se señala varios aspectos importantes vistos en la figura 16 el cual se refiere al alto volumen de agua que fluyó a través del sistema de drenaje urbano durante el evento de lluvia simulado, la cantidad de escorrentía superficial y la pérdida por infiltración muestran los desafíos que enfrenta el sistema de drenaje urbano para manejar eficazmente el agua de lluvia, lo que destaca la necesidad de medidas adicionales para gestionar la escorrentía y aumentar la filtración., y por último la magnitud del flujo máximo de salida y la duración de las inundaciones en los cruces del sistema de drenaje urbano señalan la importancia de mejorar la capacidad del sistema para manejar grandes volúmenes de agua y reducir los tiempos de inundación, (Guptha et al., 2022).

En conjunto, estos hallazgos resaltan la urgencia de implementar medidas efectivas, como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), para mejorar la resiliencia del sistema de drenaje urbano y mitigar los impactos negativos de las inundaciones urbanas causadas por eventos de lluvia intensa. La implementación de SUDS podría ayudar a reducir el volumen total de agua, mitigar las inundaciones y mejorar la capacidad de respuesta del sistema de drenaje urbano frente a eventos climáticos extremos, lo que contribuiría a crear entornos urbanos más seguros.

Seguidamente, en busca de comprender con profundidad como los materiales de los que están constituidos algunos SUDS como sustratos porosos, materiales permeables, geotextiles, interactúan con el agua superficial y cómo pueden influir en la gestión de los riesgos ambientales asociados con la escorrentía urbana, (Guptha et al., 2022)

.Citando a (Alhama et al., 2024) plantea el experimento detallado en este informe es la caracterización de varios parámetros asociados con las propiedades hidráulicas, incluyendo la conductividad hidráulica de los materiales a través de un ensayo específico para este propósito.

Además de esto, se abordaron otros parámetros físicos, el cual se centró en la medición del tamaño de las partículas, así como en el peso, volumen y dimensiones de los áridos, la porosidad, la densidad y el tamaño de grano. Y se llevaron a cabo los procedimientos de laboratorio estándar para la caracterización de mecánica de suelos, teniendo en cuenta trece materiales utilizados en la producción de superficies de pavimento con capacidad de infiltración, conocidas como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

El análisis abarcó una amplia gama de propiedades físicas que ofrecen una comprensión profunda de la capacidad de drenaje y permeabilidad de los materiales examinados. En este caso, los valores de porosidad observados están en línea con lo que se esperaría encontrar en materiales con la composición de grano grueso. Además, señala que la densidad aparente de los materiales, varía dependiendo de su porosidad y la densidad de las partículas que lo componen. Esto destaca diferencias notables entre los materiales que tienen partículas minerales y aquellos que incluyen caucho, lo que sugiere que la composición de los materiales influye en sus propiedades físicas.

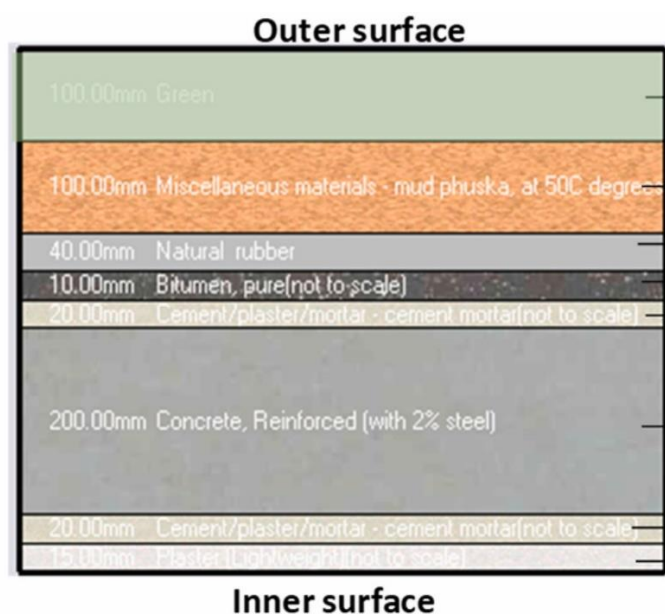
Asimismo, la prueba de conductividad hidráulica, crucial para evaluar la capacidad de drenaje de los materiales, asegurando observar tras esta evaluación que el proceso de fabricación puede modificar las características de los materiales, como la estructura porosa y la permeabilidad, afectando así su capacidad de drenaje. Por ejemplo, en el caso del hormigón drenante, la adición de cemento y el proceso de compactación pueden reducir la porosidad y la permeabilidad del material. Del mismo modo, en los compuestos de caucho, el proceso de fabricación puede alterar la estructura interna del material, afectando su capacidad para drenar el agua, (Alhama et al., 2024).

La alta porosidad y conductividad hidráulica obtenidas en las pruebas se relacionaron con la homogeneidad del tamaño de partícula, medida mediante el coeficiente de uniformidad. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre las muestras desagregadas y aquellas fabricadas, lo que sugiere (Guptha et al., 2022), la necesidad de adaptar los protocolos de prueba para materiales específicos.

En las ciudades indias, la gestión de las aguas pluviales ha tradicionalmente dependido de sistemas de drenaje basados en redes de tuberías. Estas redes suelen ser dimensionadas para enfrentar las intensidades máximas de lluvia históricas, sin considerar los cambios en el uso del suelo ni los posibles efectos del cambio climático proyectado, (Ahiablame & Shakya, 2016).

En busca de una alternativa Sostenible y amigable con el ambiente, (Bose et al., 2024) centra un estudio en India para evaluar el potencial de los techos verdes (figura 17) para así reducir las inundaciones urbanas de esta ciudad, debido al rápido desarrollo que presenta.

Figura 17 Techos verdes.



Tomado de (Abu Qadourah, 2024)

El estudio se enfocó en evaluar el potencial de los techos verdes para mitigar las inundaciones urbanas en ciudades indias de rápido crecimiento. Se exploraron diversos escenarios de implementación a nivel de edificio en áreas urbanas densamente pobladas, considerando tasas de aplicación del 25%, 50% y 75%, así como diferentes intensidades de lluvia con duraciones de 2, 3 y 4 horas y frecuencias de retorno de 2, 5, 10 y 25 años. Para llevar a cabo esta evaluación en Ahmedabad, India, se utilizaron modelos digitales para delimitar las cuencas relevantes y recopilar datos detallados sobre el uso del suelo, la topografía y el diseño de los sistemas de drenaje pluvial, incluyendo sus descargas. Estos datos fueron fundamentales para desarrollar modelos hidrológicos e hidráulicos que permitieron simular cómo los techos verdes podrían influir en la esorrentía y la infiltración de agua bajo diversas condiciones climáticas(Bose et al., 2024).

Los modelos hidráulicos se emplearon para evaluar cómo estos cambios podrían afectar el funcionamiento del sistema de drenaje urbano. Además, se realizaron estudios paramétricos para explorar los efectos de diferentes escenarios de implementación de techos verdes, analizando cómo las distintas tasas de aplicación podrían contribuir a la mitigación de las inundaciones urbanas.

Según la metodología aplicada y los hallazgos de Bose et al. (2024), se concluye que los techos verdes tienen el potencial de reducir considerablemente las inundaciones urbanas. Los resultados muestran que pueden disminuir hasta un 62% del volumen total de inundaciones y un 24% de la esorrentía superficial. Sin embargo, la eficacia de los techos verdes varía notablemente según la tasa de aplicación utilizada, siendo más efectivos cuando se implementan con una cobertura superior al 25%. Además, el estudio destaca que la intensidad de la lluvia juega un papel crucial en la incertidumbre asociada a la capacidad de los techos verdes para

reducir la escorrentía. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar tanto la cobertura como las condiciones climáticas locales al planificar la implementación de techos verdes como estrategia de gestión de aguas pluviales en entornos urbanos

Gestión Hidráulica en Infraestructuras: Innovaciones en Canalización y Drenaje

El drenaje vial desempeña un papel crucial al brindar dos formas de protección: en primer lugar, garantiza la preservación de las considerables inversiones realizadas en las carreteras al prevenir el deterioro causado por el agua y proteger los bienes adyacentes; en segundo lugar, asegura un flujo continuo, seguro y cómodo de vehículos, promoviendo así un transporte eficiente y económico tanto para pasajeros como para carga.

Con el fin de elaborar los diseños de las estructuras hidráulicas, se ha tomado como caso de estudio el estudio elaborado en la provincia de Abancay, Perú. El cual se realiza el diseño de la capacidad de cuneta para proponer un diseño longitudinal para la carretera antila ubicada en la zona mencionada.

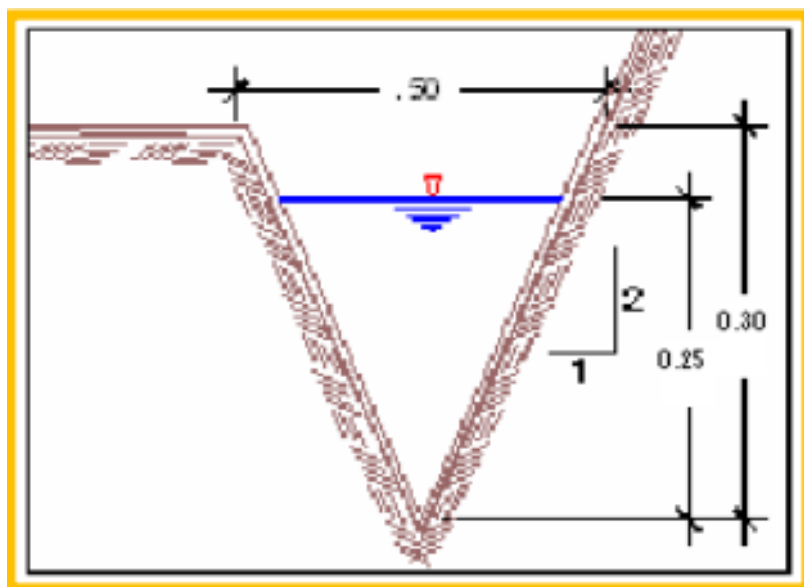
El estudio realizado por Vasquez Villalobos, (2021), propone una metodología integral para abordar el diseño y la gestión eficiente del agua en una vía determinada. Comienza con una exhaustiva inspección del terreno objeto de estudio, lo que permite una comprensión completa de las condiciones físicas y geográficas del área. A partir de ahí, se lleva a cabo una evaluación minuciosa de los ensayos de mecánica de suelos, lo que proporciona información crucial sobre las características del suelo y su capacidad para el drenaje.

Con estos datos, se procede al diseño hidráulico de las alcantarillas, una etapa fundamental para asegurar un adecuado manejo del flujo de agua en la vía. La determinación del caudal máximo y el cálculo del área de flujo hidráulico son pasos esenciales en este proceso, ya

que permiten dimensionar correctamente las estructuras necesarias para garantizar un drenaje efectivo y evitar problemas de inundación o erosión.

Finalmente, una vez que se han establecido todos los parámetros relevantes, se aborda el diseño longitudinal de la cuneta. Este diseño se realiza con el objetivo claro de proporcionar una solución óptima para la gestión del agua en la vía, teniendo en cuenta las condiciones específicas del terreno y las necesidades de drenaje. Las dimensiones y la sección de la cuneta se determinan cuidadosamente en función de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, asegurando así una solución eficaz y duradera para el manejo del agua en la vía como se muestra en la siguiente figura 18.

Figura 18. *Diseño de cuneta*



Tomado de (Vasquez Villalobos, 2021)

Vasquez Villalobos, (2021), destacó que la capacidad de la cuneta es crucial para mejorar la serviciabilidad, ya que permite calcular el caudal de descarga y el tirante hidráulico, datos esenciales para un diseño efectivo y duradero de la vía. En conjunto, estos hallazgos respaldan la

importancia del diseño adecuado de las estructuras de drenaje para garantizar una carretera funcional y segura en condiciones climáticas adversas.

Desde el punto de vista de (Tequia et al., 2022), postula que el sistema de evacuación de agua en las vías, compuesto por cunetas y alcantarillas, es fundamental para gestionar adecuadamente los fluidos. Esto incluye procesos como la recolección, conducción, eliminación y disposición final controlada del agua pluvial. Estas obras garantizan un control efectivo en la eliminación de agua, lo que prolonga la duración de la carretera y mejora la seguridad vial. El drenaje es esencial en el diseño de carreteras, ya que su ausencia puede provocar erosión e infiltración en la subrasante y deterioro del pavimento, aumentando significativamente los costos de mantenimiento o rehabilitación. Planteando así una metodología para desarrollar un diseño de estructuras como zanjas de drenaje, teniendo como fin de asegurar el funcionamiento óptimo de las carreteras terciarias en diferentes secciones de vías rurales en el Municipio de Ataco, Tolima teniendo en cuenta los siguientes elementos:

a) Caracterizar el área de investigación en términos meteorológicos e hidrológicos para establecer una referencia inicial que sirva de base para llevar a cabo los análisis hidráulicos.

b) Identificar las variables relacionadas con el ciclo del agua que permitan calcular los caudales de diseño utilizando información recopilada tanto primaria como secundaria, como la topografía y la composición del suelo.

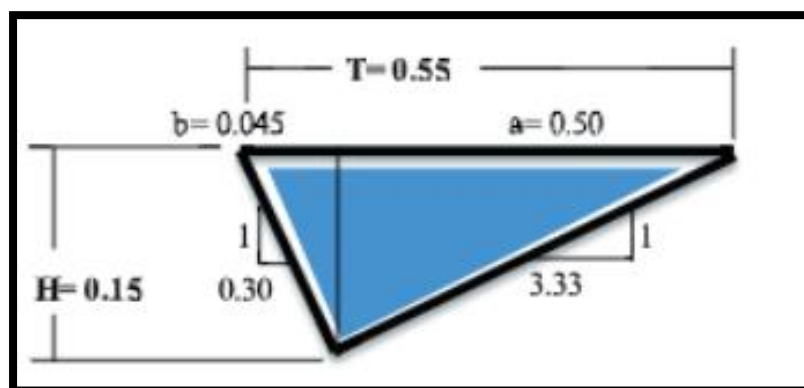
c) Establecer los estándares técnicos necesarios para determinar las dimensiones de las estructuras de drenaje, tanto principales (como alcantarillas) como secundarias (como cunetas y descoles), entre otros aspectos.

d) Evaluar la eficiencia hidráulica de las estructuras de drenaje, tanto las principales como las secundarias, en función de los flujos máximos obtenidos en el análisis hidrológico realizado.

e) Establecer la distancia máxima entre las estructuras de drenaje en dirección transversal, asegurando así un transporte eficaz de las aguas superficiales y evitando problemas como el hidroplaneo, entre otros.

Estableciendo así a través de los anteriores métodos una sección de cuneta óptima para la gestión del caudal presentado en la zona

Figura 19, *Sección de cuneta establecida para municipio de Ataco*



Tomado de (Tequia et al., 2022)

H: profundidad

T: ancho total

b: Ancho Restante

a: Ancho de cuneta

Para sintetizar (Tequia et al., 2022) señala que es crucial definir que la recopilación de datos climatológicos, hidrológicos y topográficos, así como el análisis detallado de las estructuras de drenaje existentes, son pasos fundamentales para llevar a cabo los cálculos precisos del modelo hidráulico, asegurando que este se asemeje lo más posible a la realidad.

Por otra lado teniendo en cuenta, de acuerdo a (Farina et al., 2017) aborda un estudio el cual aborda la estimación del caudal en canales abiertos, presentando dos métodos alternativos al tradicional método Velocidad-Área. Estos métodos se distinguen por su simplicidad de aplicación y la necesidad de datos básicos, como la batimetría del canal y la velocidad superficial máxima. Mientras que el primer método se basa en el concepto de entropía hidráulica, el segundo se centra en la reconstrucción de isovelas adimensionales en la sección transversal del canal, aplicados en un canal de drenaje de agua en un territorio de recuperación, donde la velocidad del agua es excepcionalmente baja. Representando una solución innovadora para estimar el caudal en condiciones difíciles, donde otras técnicas tradicionales pueden no ser aplicables.

Haciendo el enfoque experimental en el canal de drenaje conocido como Fossa Masi, ubicado en Ferrara, Italia. Para este estudio, se optó por utilizar la medición de velocidad obtenida mediante una estación total, dado que este instrumento también facilitó la captura de datos geométricos y de elevación esenciales para la investigación. Con el fin de medir la velocidad superficial, se establecieron dos tramos, denominados AA y BB, dispuestos de manera paralela y perpendicular al eje del canal. Estos tramos delimitaban una sección de longitud conocida, aproximadamente de 15 metros, desde la cual se liberaron los flotadores para medir el tiempo de tránsito figura 20. Para llevar a cabo esta medición, se colocaron dos estaciones totales

a lo largo de los dos tramos, con sus ejes de colimación alineados de manera paralela y perpendicular al eje del canal, (Farina et al., 2017).

Figura 20 . *Ubicación de la sección transversal investigada*

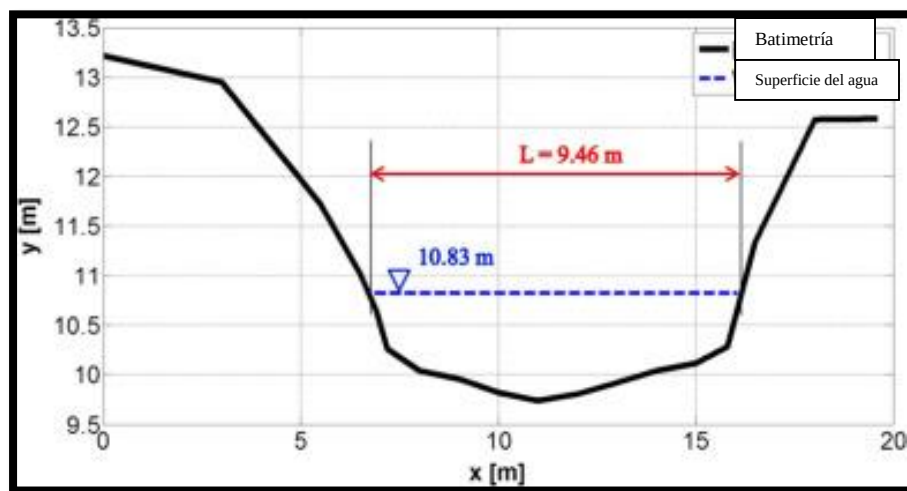


Tomado de (Farina et al., 2017)

Para la medición de la velocidad superficial, se diseñaron flotadores especialmente en un laboratorio, fabricados como pequeños "barcos" de poliestireno, diseñados para permanecer en su mayoría sobre la superficie del agua y ser fácilmente visibles para los instrumentos durante la medición de la velocidad. Estos flotadores se soltaron aguas arriba del tramo de medición y se midió el tiempo transcurrido entre el paso observado del flotador desde la primera a la segunda estación total. Se realizaron varias mediciones de velocidad y se utilizó el valor medio para estimar la descarga, (Farina et al., 2017).

Los datos de la batimetría de la sección transversal del canal fueron proporcionados por la agencia provincial de recuperación. Estos datos fueron esenciales para calcular el área de flujo y aplicar el método de estimación del caudal, (Farina et al., 2017).

Figura 21. Levantamiento topográfico del canal analizado.



Tomado de (Farina et al., 2017)

De acuerdo a lo examinado (Farina et al., 2017) manifiesta ambos métodos pueden aplicarse utilizando el mismo conjunto de datos, como la geometría de la sección transversal y una única medición de velocidad superficial máxima teniendo en cuenta estudio, se amplió la validación a un canal de menor tamaño y velocidad superficial reducida, requiriendo una técnica topográfica "sin contacto" utilizando estaciones totales y flotadores.

Se demostró que en canales de drenaje donde no es posible establecer una curva de caudal debido a su condición de remanso, es factible obtener mediciones de caudal sin depender de molinetes o tecnología Doppler, simplemente utilizando datos topográficos y mediciones de velocidad superficial a lo largo del canal.

Capítulo 3. Estudios y Avances en la Optimización y Evaluación de Estructuras

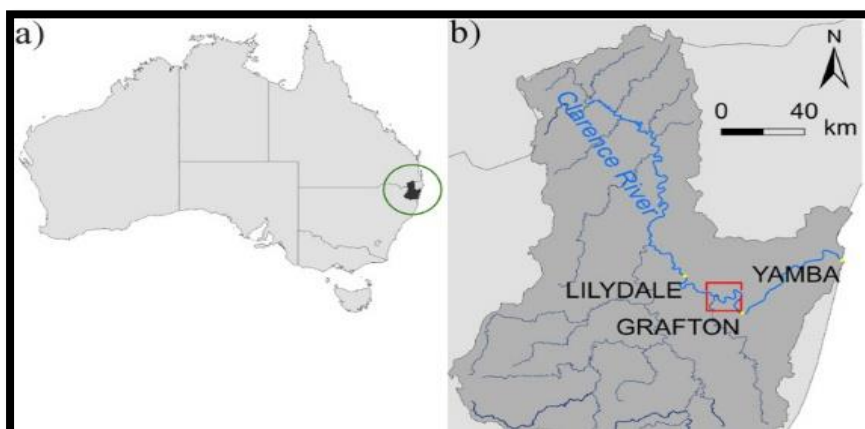
Hidráulicas para la Predicción y Gestión de Inundaciones

Optimización de Infraestructuras Hidráulicas para la Predicción de Inundaciones

En las últimas décadas, se han creado diversos modelos hidrológicos que forman parte del sistema de predicción de inundaciones. Estos modelos tienen la capacidad de prever la generación y concentración de escorrentía a partir de pronósticos de precipitación (Pagano et al., 2014). Después, los modelos hidráulicos emplean el hidrograma generado por el modelo hidrológico para calcular tanto la altura como la velocidad del agua dentro de la red fluvial. Además, cuando la capacidad de almacenamiento del río se excede, estos modelos también anticipan la altura y velocidad del agua, proporcionando así una representación del comportamiento hidráulico durante eventos de inundación Grimaldi et al., (2016) .

Es así entonces Grimaldi et al., (2018) aborda el desafío de obtener datos precisos de batimetría para modelar inundaciones, dado que la observación remota de la profundidad y forma de los ríos es limitada y la recolección de datos de campo es costosa. Explorando una representación efectiva de la geometría del canal para el pronóstico operativo de inundaciones, utilizando el modelo hidráulico LISFLOOD-FP en la cuenca de Clarence (Australia) como se muestra su ubicación geográfica en la figura 22.

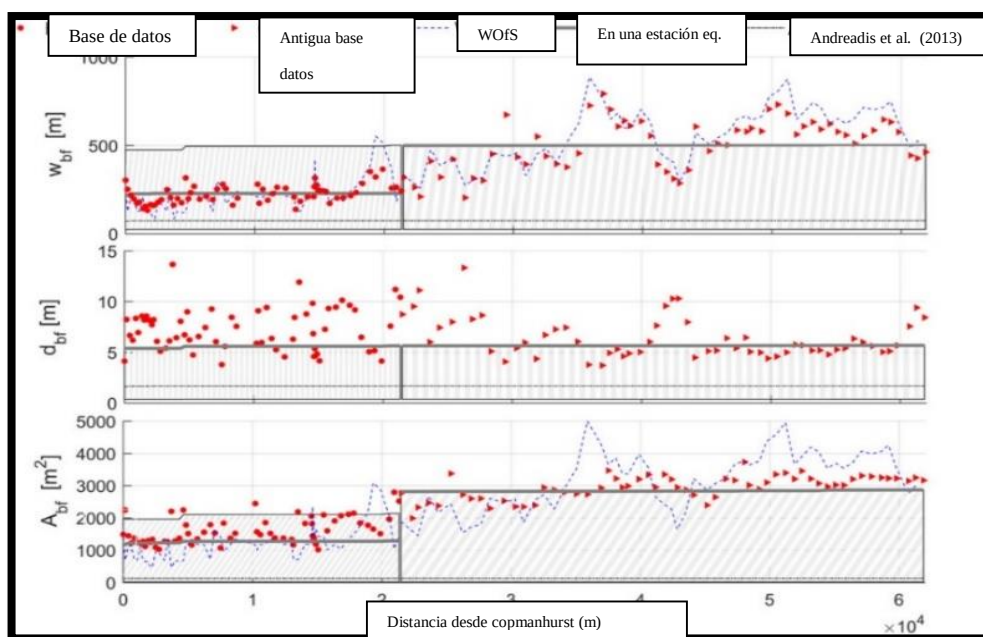
Figura 22. Información obtenida de la cuenca clarence.



Tomado de (Grimaldi et al., 2018)

Realizando un experimento numérico que se encarga de comparar simulaciones de inundaciones basadas en datos detallados de batimetría con modelos más simplificados de geometría fluvial. Estas geometrías simplificadas se derivaron de formulaciones empíricas globales, datos de teledetección y mediciones limitadas de campo.

Figura 23. Comparación de Métodos para Estimar la Geometría del Río: Datos de Campo, Teledetección y Ecuaciones en Estaciones



Tomado de (Grimaldi et al., 2018)

La comparación entre los datos de campo, la base de datos derivada de RS (teledetección) y las ecuaciones en una estación se realizó para evaluar la precisión y concordancia entre diferentes fuentes de información sobre la geometría del río. Donde de acuerdo a la figura 23 los datos de campo representan mediciones directas tomadas en ubicaciones específicas a lo largo del río, lo que proporciona una referencia precisa pero limitada de la geometría del río.

Asimismo, la base de datos derivada de RS consiste en datos recopilados a través de técnicas de teledetección, como imágenes satelitales, que permiten obtener una cobertura más amplia, pero con una resolución y detalle potencialmente inferiores en comparación con los datos de campo.

De acuerdo Grimaldi et al., (2018) manifiesta la notoria discrepancia que se da entre las predicciones del modelo utilizando datos detallados y simplificados permitió evaluar el impacto de la geometría en la dinámica de inundaciones, donde se encontró que la representación geométrica del canal para pronósticos confiables de inundaciones puede lograrse utilizando valores de ancho de río derivados de sensores remotos junto con mediciones de profundidad en ubicaciones estratégicas. Concluyendo así que una representación adecuada de la geometría del río es crucial para mejorar la precisión de los modelos hidráulicos de inundaciones, y la combinación de datos de campo, teledetección y análisis numéricos puede ayudar a reducir la incertidumbre en la modelización de inundaciones, (Grimaldi et al., 2018).

Por otro lado a juicio de Diwedat et al., (2023) propone un estudio el cual tiene como finalidad mostrar cómo la combinación de modelos físicos y numéricos puede utilizarse para evaluar el proceso de fortalecimiento de una estructura hidráulica afecta el comportamiento del agua en un canal, tanto durante como después de la implementación de obras de rehabilitación o refuerzo. Las mejoras planificadas incluyen el llenado del vaso amortiguador con un colchón de

hormigón armado con el fin de reforzar el área que ayuda a reducir la velocidad del agua, la ampliación de los pilares centrales que sostienen la estructura para aumentar su estabilidad y la construcción de un nuevo azud de hormigón y así controlar el flujo de agua., Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un estudio de caso en el regulador El Bagoureya en Egipto como se muestra en la siguiente figura 24.

Figura 24 Zona de estudio Bagoreya, Egipto



Tomado de Diwedat et al., (2023)

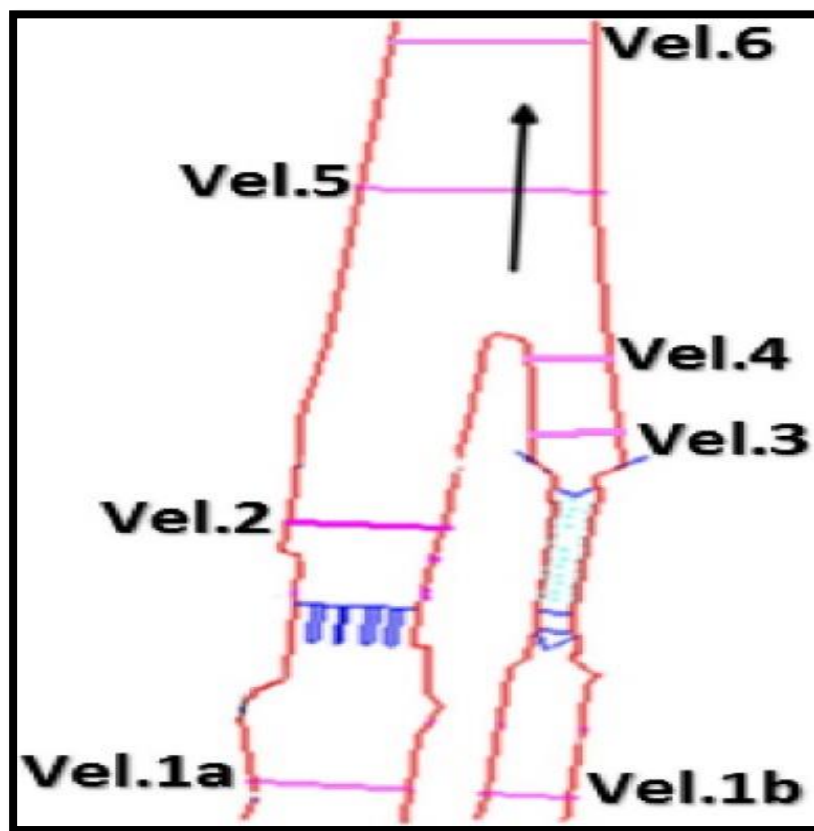
Durante las obras de rehabilitación, el flujo de agua pasará por el canal de navegación de la esclusa, lo que plantea la necesidad de investigar la capacidad de la esclusa para manejar el

máximo flujo manteniendo niveles de agua constantes y satisfaciendo la demanda de agua. El estudio también evalúa la eficiencia de la solución propuesta y su impacto en el estado hidráulico del canal, así como la necesidad de protección y dragado tanto aguas arriba para asegurar un flujo adecuado como aguas abajo de la esclusa para evitar acumulaciones y asegurar el flujo continuo, (Diwedat et al., 2023).

La metodología utilizada en este estudio combina un enfoque híbrido que integra Simulaciones por computadora que representan el flujo de agua en dos dimensiones (largo y ancho del canal) o en pocas palabras modelos numéricos 2D y modelos físicos a pequeña escala para evaluar el impacto del fortalecimiento de estructuras hidráulicas en el comportamiento de un canal.

Para recopilar datos de campo, se llevó a cabo un levantamiento batimétrico que cubrió una amplia zona tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio del regulador El Bagourea. Este levantamiento incluyó la medición de secciones transversales del lecho del canal mediante una ecosonda que emite ondas sonoras y mide el tiempo que tardan en regresar para determinar la profundidad., así como la determinación de los bancos o la medición de las orillas o límites del canal utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS) para obtener coordenadas precisas. Además, se midieron los niveles de agua a lo largo del área de estudio y se utilizaron dispositivos niveladores para determinar las condiciones operativas del flujo y medir el flujo incidente y así evaluar cómo el agua se mueve y su velocidad. Para la calibración del modelo, se midieron la descarga y las velocidades correspondientes utilizando perfiladores de corriente Doppler acústicos (ADCP) como se muestra en la figura 25, (Diwedat et al., 2023).

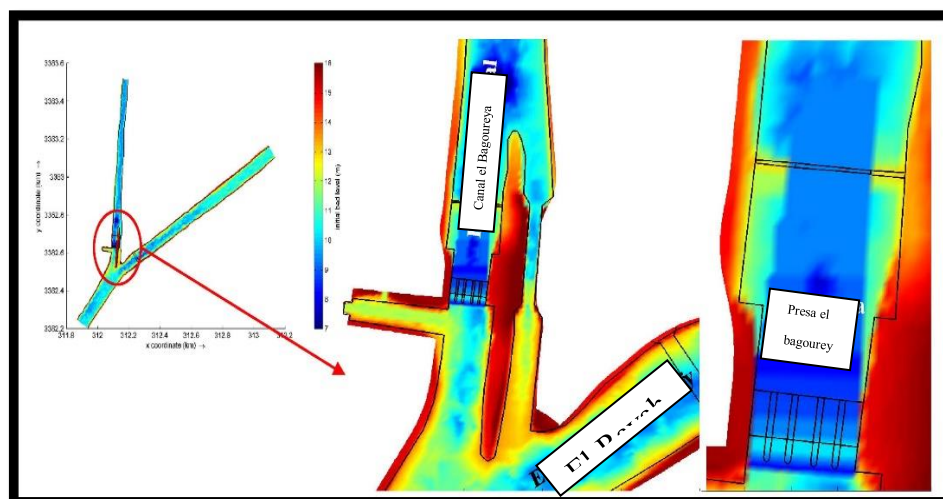
Figura 25. Velocidades medidas en campo



Tomado de (Diwedat et al., 2023)

El enfoque híbrido consistió en aplicar los resultados del modelado numérico 2D y del modelo físico mostrado en la figura 26 del regulador El Bagoureya. El modelo numérico se utilizó como modelo de campo lejano para simular una amplia área del canal, mientras que el modelo físico se centró en el área alrededor del regulador de presión (figura 23). Se ejecutaron diferentes escenarios modelo para evaluar los cambios hidráulicos durante y después de la implementación de las obras de refuerzo propuestas, teniendo en cuenta las variaciones estacionales en los flujos del río Nilo.

Figura 26. *Diseño del modelo numérico 2D*



Tomado de (Diwedat et al., 2023)

Figura 27. *Diseño de modelo físico*

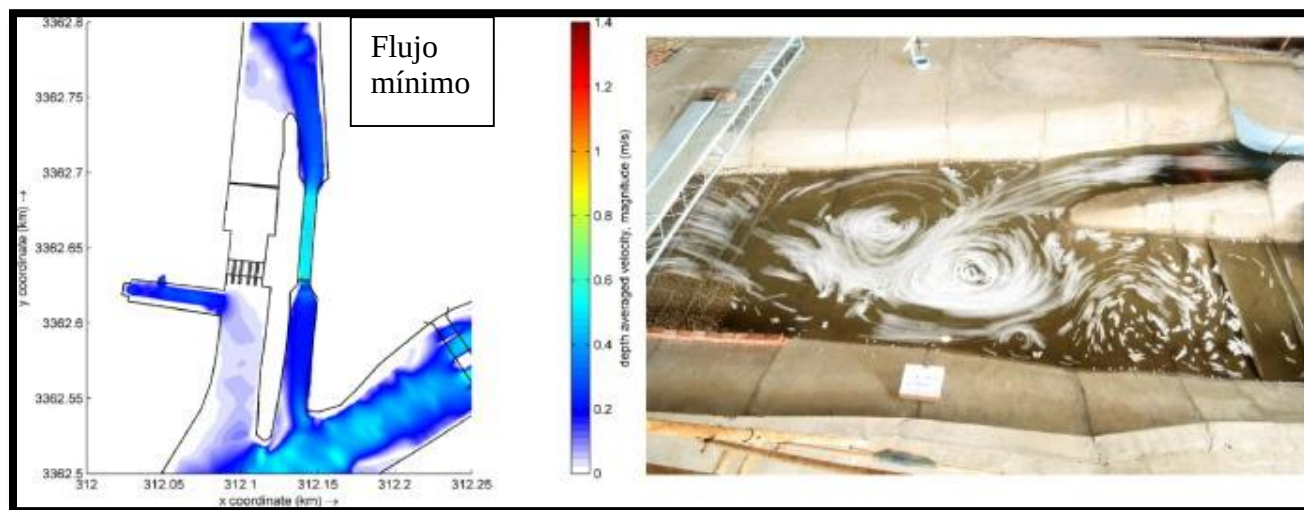


Tomado de (Diwedat et al., 2023)

El proceso experimental para operar el modelo hidráulico implica bombear agua desde un depósito elevado y descargarla aguas arriba en el modelo. La entrada de agua al modelo está

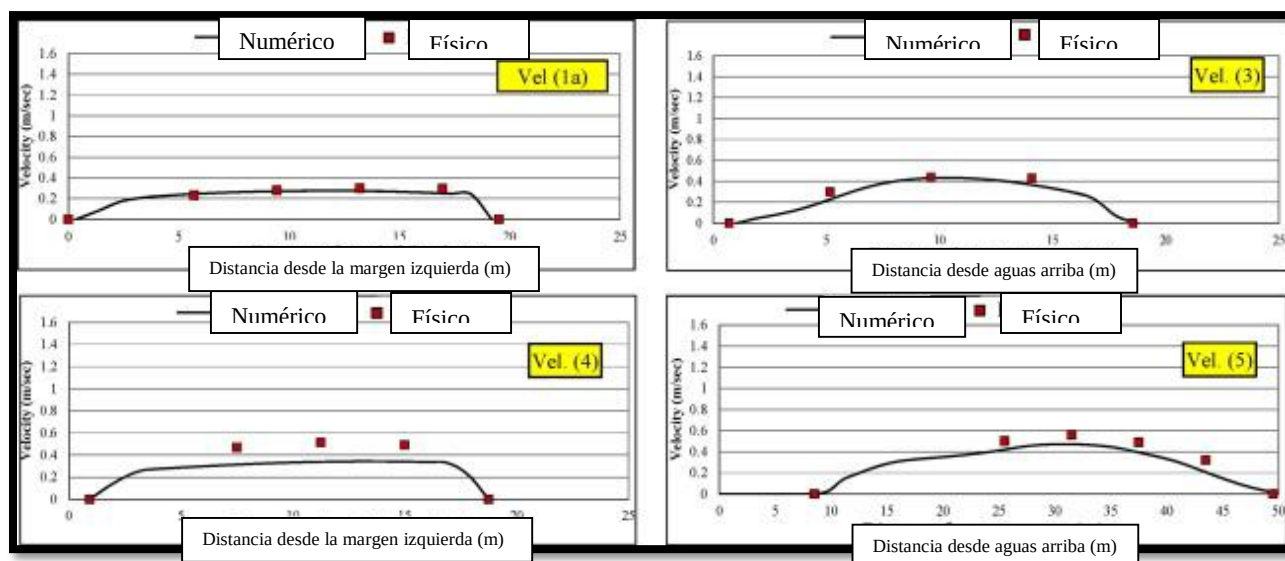
controlada por una válvula y medida por un medidor de flujo ultrasónico. La salida de agua del modelo se realiza uniformemente a través de un vertedero de desbordamiento en la entrada del modelo. Los niveles de agua detrás del regulador se ajustan y controlan mediante un portón trasero en la salida del modelo y se miden con tres indicadores de nivel.

Figura 28. *Patron de flujo de descarga*



Tomado de (Diwedar et al., 2023)

Figura 29. *Comparación de velocidades*



Tomado de (Diwedar et al., 2023)

De acuerdo a Diwedar et al., (2023) señala el hallazgo de que la velocidad del flujo en la margen derecha es mayor que en la margen izquierda en el corte transversal aguas arriba (Vel. 1b) puede deberse a varios factores hidráulicos, como la geometría del canal, la rugosidad del fondo del canal, la distribución de las corrientes, entre otros. Por ejemplo, la margen derecha podría tener una pendiente más pronunciada o una sección transversal más abierta, lo que favorecería velocidades de flujo más altas en comparación con la margen izquierda.

Por otro lado, la baja velocidad del flujo en la margen derecha en el tramo aguas abajo (por encima de la escollera) (Vel. 3) podría ser atribuible a la presencia de obstáculos hidráulicos, como la escollera, que podría generar zonas de recirculación o áreas de flujo estancado. Además, la baja velocidad del flujo al final de la isla en la margen derecha (Vel. 4) seguida de un aumento posterior podría indicar Comportamientos inusuales del agua debido a la presencia de la isla, como la formación de remolinos o la aceleración del flujo alrededor de la isla. Esto puede ser influenciado por la forma y la orientación de la isla, así como por la velocidad y la dirección del flujo principal.

En conclusión, la aplicación del enfoque híbrido en este estudio resalta su eficacia y su potencial para ser una herramienta invaluable en futuras investigaciones relacionadas con la rehabilitación de estructuras hidráulicas. Este enfoque permite una evaluación exhaustiva del comportamiento del canal, ofreciendo una perspectiva que abarca tanto el modelado numérico como el modelo físico a pequeña escala. Asimismo, resalta la correspondencia general encontrada entre los resultados obtenidos mediante el modelado numérico y el modelo físico refuerza la confiabilidad y validez de ambos métodos, (Diwedar et al., 2023).

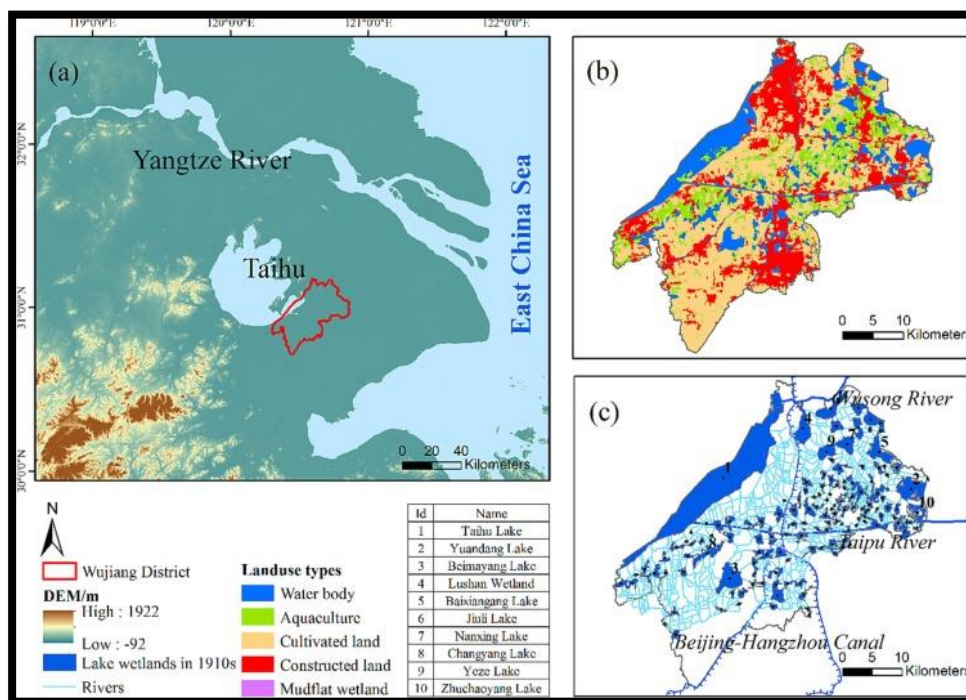
Revisión de la Influencia de las Obras Hidráulicas en la Hidrología

De acuerdo a Duarte et al., (2021) Durante años, las actividades humanas han interrumpido el ciclo hidrobiológico de los ecosistemas fluviales naturales mediante la construcción de infraestructuras como presas o compuertas para propósitos agrícolas, control de inundaciones y prevención de la propagación de contaminantes. Estas intervenciones han causado alteraciones significativas en el funcionamiento interno de los ecosistemas fluviales, afectando el equilibrio natural, donde se ha visto que la construcción de presas en ríos, a pesar de sus beneficios para la generación de energía hidroeléctrica y la prevención de inundaciones, ha tenido un impacto significativo en los ciclos biogeoquímicos, ha interrumpido las funciones ecológicas de los cuerpos de agua aguas abajo y ha afectado la provisión de servicios ecosistémicos. Por tanto, resulta de suma importancia evaluar el nivel de conectividad hidrológica longitudinal en el contexto de la predominante construcción de presas y esclusas, ya que estas han alterado de manera significativa el flujo natural de los ríos y han modificado aún más la conectividad hidrológica. Siendo así, numerosos estudios han evidenciado que la edificación de embalses y represas ha provocado cambios en los patrones de flujo, ha interrumpido la conexión entre las secciones superior e inferior de los ríos, y ha impactado el transporte de sedimentos y la disponibilidad de agua para el riego.

Yang et al.,(2024) aborda entonces de acuerdo a esto, el estudio del impacto de la se enfoca en cómo la construcción de estructuras hidráulicas, como presas y esclusas, ha afectado a los humedales cerca de lagos y ríos. Estas estructuras han cambiado la forma en que el agua fluye en estos lugares, lo que a su vez ha alterado la manera en que los humedales están conectados entre sí y con sus alrededores. Presentando una nueva forma de evaluar cómo los humedales lacustres están conectados entre sí y con el entorno circundante, teniendo en cuenta la

presencia de estructuras hidráulicas como presas y esclusas. Este enfoque utiliza la teoría de grafos y diferentes índices para medir esta conectividad hidrológica de manera más precisa y completa, ubicado en la cuenca del lago Taihu, China.

Figura 30. Ubicación de estudio (Wujiang)



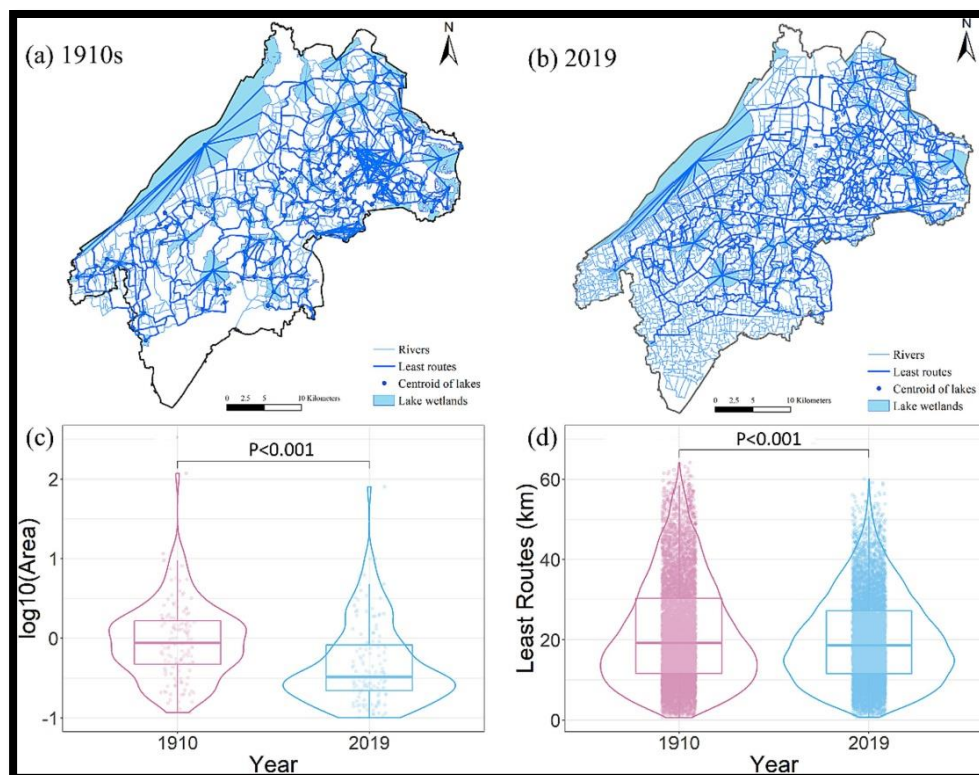
Nota* Imagen b, Tipo de suelos de la zona, Imagen c humedales y ríos de la zona.

Tomado de (Yang et al., 2024).

Para llevar a cabo este estudio, se emplearon mapas e imágenes satelitales desde la década de 1910 con el fin de determinar la extensión de los humedales lacustres y las redes fluviales. Además, se utilizó información recopilada en el tercer estudio nacional realizado en 2019, donde se obtuvieron datos sobre instalaciones hidráulicas como compuertas, estaciones de bombeo y diques. Posteriormente, se adaptaron términos y algoritmos de la teoría de grafos para describir la estructura de las redes fluviales, incluyendo canales naturales y artificiales. Este

proceso permitió identificar segmentos de ríos y puntos de unión entre ellos, lo que facilitó una comprensión más profunda de la hidrología del área estudiada.

Figura 31. Resultado en los cambios espaciotemporales en los humedales



Tomado de (Yang et al., 2024)

El estudio señaló que la construcción de instalaciones hidráulicas, como compuertas y represas, ha tenido un impacto profundo en los procesos hidrológicos de la región. Esta intervención humana ha alterado significativamente la conectividad hidrológica, especialmente en áreas de humedales lacustres controladas intensivamente por estas instalaciones. Como resultado, se observó una disminución en la conectividad hidrológica en estas áreas, lo que sugiere que las prácticas de ingeniería hidráulica han modificado el flujo natural de agua y han afectado la interconexión entre los humedales.

Capítulo 4. Análisis Global de los Avances y Exploraciones en la Mejora de Estructuras Hidráulicas para el Control del Agua y la Mitigación de Inundaciones

El objetivo de este estudio ha sido recopilar y presentar investigaciones que al ser revisadas fueron consideradas novedosas o en su efecto contribuyen al temario desarrollado. Esto ofrece al lector la oportunidad de complementar sus conocimientos básicos sobre diversos temas relacionados con las estructuras hídricas diseñadas para el control del agua y la mitigación de inundaciones. De esta manera, se busca enriquecer el entendimiento y fomentar el desarrollo de soluciones más eficaces y seguras en el campo de la ingeniería hidráulica. La investigación se centra principalmente en elementos destinados a la gestión del agua, como presas, acueductos, canales y sistemas de drenaje sostenible. Al recopilar diversos métodos, modelos y diseños en el ámbito de las obras hidráulicas, promoviendo la optimización de las estructuras y la implementación de soluciones para la gestión del agua y la prevención de inundaciones.

El primer capítulo planteado denominado estudios e investigaciones de obras diseñadas para el almacenamiento hídrico y control de inundaciones, tiene como finalidad presentar estudios en este ámbito. En donde, se destacan las tecnologías avanzadas para evaluar y reforzar presas, y la incorporación de nuevos materiales.

El estudio del autor Wang, quien explora la incorporación de materiales poliméricos permeables, como el poliuretano, en la construcción de presas, se conoce que tradicionalmente, estas estructuras son rellenas con materiales sueltos como arcillas, limos y geo membranas. Sin embargo, el uso de poliuretano se presenta una innovación significativa en este ámbito, debido a de acuerdo a la investigación Wang asegura que sus propiedades mecánicas son superiores al igual que su capacidad de permeabilidad, y puede mejorarse aún más con el uso de aditivos. Es así como se emplea el uso de nuevos materiales en elementos hidráulicos, en busca

de una mayor eficiencia y optimización en el diseño de estas estructuras. El cual por medio de polímeros en las presas no solo proporciona estabilidad, sino que también previene filtraciones, representando una alternativa prometedora frente a los métodos tradicionales de refuerzo mencionadas anteriormente.

Asimismo, resaltar el avance significativo en los modelos de simulación, que permiten diseñar estas estructuras más seguras y adecuadas. Esta innovación en el modelado y la simulación de presas es primordial, ya que proporciona una herramienta que busca prever y mitigar posibles fallos estructurales, permitiendo además la simulación con diferentes materiales, asimismo que la predicción de grietas, siendo esto una evidencia de la necesidad de la incorporación de la tecnología para establecer diseños seguros, el cual esto no solo promueve la innovación continua en ingeniería hidráulica, sino que también amplía el alcance de los estudios en un campo que es notorio que se mantiene en constante evolución.

Continuando con este capítulo, se propone el desarrollo de un modelo estructural para acueductos con el objetivo de mejorar tanto la eficiencia en la construcción como la seguridad estructural. Este nuevo enfoque representa una mejora significativa en comparación con los acueductos de hormigón armado y hormigón pretensado, ofreciendo una solución más ligera, y resistente a largo plazo. Los acueductos de hormigón armado, están compuestos por concreto reforzado con barras de acero y son robustos, pero pueden ser pesados y más susceptibles a la formación de fisuras bajo ciertas condiciones de carga. Por otro lado, los acueductos de hormigón pretensado, que utilizan cables de acero pretensados, mejoran la resistencia y durabilidad en comparación a los de hormigón armado, pero también presentan complejidad en su construcción y mantenimiento, para esto, el nuevo modelo estructural propuesto combina las ventajas de ambos métodos tradicionales, utilizando una construcción que permite una mayor

eficiencia y control de calidad. Este diseño innovador reduce el peso propio del acueducto, simplifica el proceso de construcción y mejora la durabilidad y la hermeticidad del sistema.

Para desarrollar el segundo capítulo y enriquecer la idea principal, se exploraron diversas alternativas para gestionar los flujos hídricos. En los países desarrollados, donde la urbanización ha llevado a una disminución significativa de zonas verdes y problemas de contaminación, se han enfocado en medidas sostenibles y amigables con el medio ambiente. Estas medidas buscan minimizar el impacto ambiental y mitigar los problemas asociados con zonas poco permeables que a menudo conducen a inundaciones.

Uno de los enfoques principales ha sido el desarrollo de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles, el cual se destaca por su capacidad para gestionar eficientemente el flujo de agua y mitigar las áreas grises en entornos urbanos. Aunque estos sistemas varían en diseño e implementación, comparten el objetivo común de manejar de manera efectiva los recursos hídricos en las áreas donde se aplican. Es importante señalar que, si bien los han sido ampliamente adoptados en países desarrollados como China, su implementación en naciones en desarrollo como Colombia ha sido menos extensa. Esto se debe en parte a la diferencia en la disponibilidad de zonas permeables, un factor crucial a considerar dado el estado de desarrollo de cada país.

Además de explorar la alternativa mencionada, también se están llevando a cabo estudios sobre el uso de canales convencionales como una opción adicional en la gestión hídrica. Estos estudios buscan complementar y optimizar aún más las soluciones disponibles para manejar los flujos hídricos en entornos urbanos y suburbanos, el cual los canales convencionales, a diferencia de los sistemas de drenaje urbano más modernos, ofrecen una trayectoria probada y económica para dirigir y controlar el agua, aprovechando principios hidráulicos bien establecidos. Esta

opción tradicional no solo considera la eficiencia en la gestión del agua, sino también su viabilidad técnica y económica, incluidas aquellas regiones donde la infraestructura moderna donde los SUDS puede no ser tan accesible o aplicable.

Por último, para enfatizar la importancia de las investigaciones utilizadas en la predicción de inundaciones, se están desarrollando modelos que permiten simular estos eventos, en cuanto los conocimientos fundamentales sobre la predicción y modelado de inundaciones son limitados, siendo evidente que estos modelos son complejos en su implementación y requieren que el investigador tenga tanto conocimientos teóricos como habilidades en el uso de software específico para el modelado. Esta investigación nos proporciona una visión de los métodos contemporáneos empleados para predecir inundaciones, lo cual contribuye al diseño mejorado de estructuras para mitigar estos eventos. Asimismo, también se aborda las desventajas asociadas con la construcción de infraestructuras como presas y compuertas, que pueden tener impactos ambientales significativos en los ecosistemas locales, alterando su equilibrio natural.

Personalmente, no había considerado antes el alcance de estos impactos en los ecosistemas desde los cambios de la calidad del agua, impactos en la fauna terrestre e impactos socioeconómicos.

Es fundamental destacar la modalidad de investigación utilizada en la monografía, ya que nos permite complementar y ampliar nuestro conocimiento sobre nuevos temas relacionados con las obras civiles. A medida que investigamos diversas fuentes, se nos abre la puerta al descubrimiento de nuevos modelos, métodos de desarrollo y enfoques para estudiar los temas tratados. Esto enriquece la comprensión, permitiendo una exploración más profunda y detallada de la temática desarrollada, permitiendo enriquecer los conocimientos previos y las ideas establecidas sobre los temas abordados, proporcionando un análisis crítico de las contribuciones realizadas en cada desarrollo temático.

Conclusión

Los avances en tecnologías innovadoras ofrecen soluciones prometedoras para abordar desafíos específicos en la ingeniería civil, especialmente en el campo de la estabilidad de presas y acueductos. Desde el refuerzo de presas de tierra y roca hasta la evaluación de presas de enrocado con cara de concreto, se destacan métodos avanzados que mejoran la seguridad como los modelos de desarrollo en donde son utilizados inteligencia artificial, y los modelos refinados de elementos finitos, aumentando la durabilidad y la eficiencia de estas importantes estructuras hidráulicas. En los estudios establecidos, queda claro que la implementación de nuevos materiales poliméricos permeables como el poliuretano, para reforzar taludes de presas mejora significativamente la estabilidad y el factor de seguridad de las pendientes. Además, los modelos de tecnologías inteligentes que permiten el procesamiento de imágenes y enfoques avanzados para analizar la resistencia de las estructuras juegan un papel fundamental en asegurar la integridad de estas infraestructuras.

han destacado la urgencia de implementar soluciones innovadoras y sostenibles para mitigar los efectos de las inundaciones urbanas. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se han convertido en una respuesta crucial, adaptándose según las características específicas de cada zona. Estos sistemas incluyen una variedad de tipologías como pavimentos permeables, techos verdes, zanjas de infiltración, estanques y lagos de retención, demostrando ser estrategias efectivas para reducir el volumen total de agua, mitigar inundaciones y mejorar la capacidad de respuesta del sistema de drenaje urbano ante eventos climáticos extremos. Además, la caracterización de los materiales utilizados en los SUDS y la evaluación de sus propiedades hidráulicas son aspectos fundamentales para garantizar su eficacia y durabilidad.

Por último, la construcción de infraestructuras hidráulicas, como presas, esclusas y represas, ha tenido un impacto significativo en los ecosistemas fluviales, alterando los ciclos hidrológicos naturales y la conectividad entre diferentes cuerpos de agua. Estudios recientes han demostrado que estas intervenciones humanas han provocado cambios en los patrones de flujo, interrumpiendo la conexión entre secciones de ríos y afectando la disponibilidad de agua, siendo de gran importancia comprender y llevar a cabo la evaluación de la influencia de las obras hidráulicas en la hidrología para mitigar los impactos ambientales asociados con estas infraestructuras.

Bibliografía

- Abu Qadourah, J. (2024). Energy efficiency evaluation of green roofs as a passive strategy in the mediterranean climate. *Results in Engineering*, 23, 102519.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102519>
- Ahiablame, L., & Shakya, R. (2016). Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 171, 81-91.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>
- Alawneh, M., Tadros, M., & Morcous, G. (2016). Innovative System for Curved Precast Posttensioned Concrete I-Girder and U-Girder Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 21(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000938](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000938)
- Alhama, I., Jiménez-Valera, J. A., & del Mar Pérez Cambra, M. (2024). Hydraulic and physical property characterizations of materials for the design of sustainable urban drainage systems. *Urban Climate*, 53, 101779. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101779>
- Baghbani, A., Faradonbeh, R. S., Lu, Y., Soltani, A., Kiany, K., Baghbani, H., Abuel-Naga, H., & Samui, P. (2024). Enhancing Earth Dam Slope Stability Prediction with Integrated AI and Statistical Models. *Applied Soft Computing*, 111999.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111999>
- Bai, R., Kusama, K., Sakurai, T., Bai, H., Wang, C., Zhang, J., Kuse, M., Ideta, A., Aoyagi, Y., Okuda, K., & Imakawa, K. (2015). The role of endometrial selectins and their ligands on bovine conceptus attachment to the uterine epithelium during peri-implantation period. *Biology of Reproduction*, 93(2). <https://doi.org/10.1095/biolreprod.115.128652>
- Bose, T., Kalbar, P. P., & Mondal, A. (2024). Performance and uncertainty assessment of green roofs for urban flood reduction in a high-density catchment in Ahmedabad, India. *Journal*

of Environmental Management, 365, 121500.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121500>

Chen, H., & Liu, D. (2019). Stochastic finite element analysis of rockfill dam considering spatial variability of dam material porosity. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, 36(9), 2929-2959. <https://doi.org/10.1108/EC-06-2018-0266>

Chen, H., Liu, D., & Shi, X. (2024). Study on long-term service behavior of concrete face rockfill dam considering actual construction quality and constitutive model improvements. *Computers and Geotechnics*, 168, 106156. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2024.106156>

Diwedat, A. I., Fathy, R. M., Abd Elhamid, A. M. I., & Bahgat, M. (2023). A hybrid approach to assess the hydraulic structures rehabilitation work, case study: El-Bagourea head regulator, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 75, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.05.068>

Duarte, G., Segurado, P., Haidvogel, G., Pont, D., Ferreira, M. T., & Branco, P. (2021). Damn those damn dams: Fluvial longitudinal connectivity impairment for European diadromous fish throughout the 20th century. *Science of The Total Environment*, 761, 143293. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143293>

Farina, G., Bolognesi, M., Alvisi, S., Franchini, M., Pellegrinelli, A., & Russo, P. (2017). Estimating discharge in drainage channels through measurements of surface velocity alone: A case study. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54, 205-209. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.02.006>

Feng, W., Chi, S., & Jia, Y. (2023). Random finite element analysis of a clay-core-wall rockfill dam considering three-dimensional conditional random fields of soil parameters.

Computers and Geotechnics, 159, 105437.

<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105437>

Grimaldi, S., Li, Y., Pauwels, V. R. N., & Walker, J. P. (2016). Remote Sensing-Derived Water Extent and Level to Constrain Hydraulic Flood Forecasting Models: Opportunities and Challenges. *Surveys in Geophysics*, 37(5), 977-1034. <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9378-y>

Grimaldi, S., Li, Y., Walker, J. P., & Pauwels, V. R. N. (2018). Effective Representation of River Geometry in Hydraulic Flood Forecast Models. *Water Resources Research*, 54(2), 1031-1057. <https://doi.org/10.1002/2017WR021765>

Guptha, G. C., Swain, S., Al-Ansari, N., Taloor, A. K., & Dayal, D. (2022). Assessing the role of SuDS in resilience enhancement of urban drainage system: A case study of Gurugram City, India. *Urban Climate*, 41, 101075. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101075>

Koopialipoor, M., Fahimifar, A., Ghaleini, E. N., Momenzadeh, M., & Armaghani, D. J. (2020). Development of a new hybrid ANN for solving a geotechnical problem related to tunnel boring machine performance. *Engineering with Computers*, 36(1), 345-357. <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00701-8>

Li, D., Hou, J., Zhou, Q., Lyu, J., Pan, Z., Wang, T., Sun, X., Yu, G., & Tang, J. (2023). Urban rainfall-runoff flooding response for development activities in new urbanized areas based on a novel distributed coupled model. *Urban Climate*, 51, 101628. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101628>

Min, Q., Zhang, M., Li, M., He, Y., Bordas, S. P. A., & Zhang, H. (2024). Hydraulic fracturing simulation of concrete dam integrating intelligent crack detection and refined modeling

- methods. *Engineering Structures*, 305, 117760.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117760>
- Pagano, T. C., Wood, A. W., Ramos, M.-H., Cloke, H. L., Pappenberger, F., Clark, M. P., Cranston, M., Kavetski, D., Mathevet, T., Sorooshian, S., & Verkade, J. S. (2014). Challenges of Operational River Forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 15(4), 1692-1707. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0188.1>
- Peng, C., He, W., Wang, Y., Li, G., & Zhai, D. (2020). Optimization Method for a Lap-Assembled Parabolic Concrete Channel Structure. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(6), 04020011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001467](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001467)
- Quan, Q., Zhang, X., Shen, B., & Mo, S. (2013). *Impact of Urbanization on Rainfall-Runoff Process in a City: The Flood from 8 to 9 August 2007 in Xi'an, China*.
- Rogers, J. (2006). Lessons Learned de the St. Francisco Dam Failure. *Geo-Strata*, 6(2), 14-17.
- Shu, Y., Wang, G., Lu, W., Chen, M., Lv, L., & Chen, Y. (2022). Damage characteristics and failure modes of concrete gravity dams subjected to penetration and explosion. *Engineering Failure Analysis*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106030>
- Tequia, W. E. A. T. A., Arana, H. J. R., & Cárdenas, D. O. E. (2022). Guía práctica para el diseño de cunetas y alcantarillas como sistema de drenaje para carreteras de tercer orden, municipio de ataco departamento de tolima. *Ingenio Magno*, 13(1), Article 1.
- Vasquez Villalobos, Y. J. (2021). Diseño de alcantarillas y cunetas de drenaje para mejorar la serviciabilidad de la carretera Antilla—Ccollpa, Provincia de Abancay-Apurímac. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73013>

- Wang, Y., Han, M., Li, B., & Wan, Y. (2022). Stability evaluation of earth-rock dam reinforcement with new permeable polymer based on reliability method. *Construction and Building Materials*, 320, 126294. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126294>
- Xiao, J.-L., Yang, Y., Zhuang, L.-D., & Nie, X. (2021a). A numerical and theoretical analysis of the structural performance for a new type of steel-concrete composite aqueduct. *Engineering Structures*, 245, 112839. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112839>
- Xiao, J.-L., Yang, Y., Zhuang, L.-D., & Nie, X. (2021b). A numerical and theoretical analysis of the structural performance for a new type of steel-concrete composite aqueduct. *Engineering Structures*, 245, 112839. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112839>
- Xu, B., Li, Y., & Pang, R. (2023). Plasticity inverse analysis for Zipingpu concrete-faced rockfill dam based on advanced cloud surrogate model via improved Jaya optimization algorithm. *Computers and Geotechnics*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105555>
- Yang, S., Wan, R., Yang, G., & Li, B. (2024). A novel framework to assess the hydrological connectivity of lake wetlands in plain river networks with dense hydraulic facilities: Comparing natural and disturbed states over a century. *Journal of Hydrology*, 630, 130787. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130787>
- Zhang, W., & Zhou, Y. (2021). Chapter 2—Level-set functions and parametric functions. En W. Zhang & Y. Zhou (Eds.), *The Feature-Driven Method for Structural Optimization* (pp. 9-46). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821330-8.00002-X>
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., & Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of the Total Environment*, 658, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>