



# OBRAS HIDRÁULICAS

## Causas de deficiente funcionamiento y/o colapso

La realidad del Perú



Zivko Gencel

Ingeniero Civil, M.Sc., especializado en  
hidráulica de obras hidrotécnicas

Piura, Perú, años 2016 - 2017

## **Dedicatoria:**

Este libro, producto de mis apreciaciones basadas en más de cuarenta años de experiencia profesional en consultoría, es dedicado a jóvenes profesionales, específicamente mis exalumnos, aquéllos que crecieron y persisten siendo personas íntegras y éticas.

## **Agradecimientos:**

Me siento comprometido con la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Belgrado (Yugoslavia 1972), con la Escuela de Postgrado de Colorado State University (EE.UU.) donde me formé académicamente, y con la empresa “Energoprojekt” de Belgrado que me permitió adquirir experiencias prácticas basadas en procedimientos sistemáticos correctos y disciplina profesional. La Universidad Privada de Piura y su Laboratorio de Hidráulica me dieron la oportunidad única de fortalecer su desempeño comercial. La Universidad Nacional de Piura me ha facilitado mediante un año sabático, el tiempo para dedicarme a escribir esta obra. Me siento agradecido con muchas personas cuyos esfuerzos positivos y ayuda influenciaron en lo que soy ahora. Siento especial apreciación por apoyo que me ha brindado para establecerme como profesional colegiado en el Perú el Ingeniero Jorge Jibaja Elías. Agradezco al Dr. Víctor Miguel Ponce quien ha facilitado publicación del libro en su prestigioso sitio web.

**Zivko Gencel, autor**

Copyright © 2017

Zivko Gencel, Todos los derechos reservados

## ÍNDICE:

	<u>Pag.</u>
Motivaciones acerca de escribir este libro	5
Capítulo I:	
<b>Potenciales orígenes de deficiencias en el proceso de creación de una obra civil hidráulica</b>	
1/. Evaluación de las características de la demanda.	7
2/. Consultoría y responsable seguimiento y revisión del diseño.	9
3/. Licitación, contratación de los ejecutores (constructor y supervisión).	14
4/. Construcción y operación de prueba.	16
5/. Operación y mantenimiento.	19
6/. Retroalimentación.	21
7/. El propósito de este libro y la Ingeniería Civil Forense.	25
Capítulo II:	
<b>Situación del sector de consultoría y construcción de obras hidráulicas en el Perú desde la inauguración del SNIP</b>	
1/. Supuestos de SNIP, año 2000.	26
2/. La realidad antes y después.	27
3/. Casos ilustrativos.	34
4/. Invierte.pe	35
Capítulo III:	
<b>Obras de saneamiento ambiental</b>	
1/. Fuentes, captaciones y plantas de agua potable (PTAP).	37
2/. Obras de saneamiento.	39
– Residuos líquidos, alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).	
– Residuos sólidos rellenos sanitarios – plantas de procesamiento de residuos sólidos.	
– Recuperación de ríos y de los cuerpos de agua en reposo.	

3/.	Sistemas urbanos y rurales de evacuación de aguas pluviales.	42
4/.	Casos ilustrativos.	42
Capítulo IV:		
<b>Sistemas de riego y drenaje agrícola</b>		
1/.	Presas de acumulación y de derivación con obras adjuntas.	58
2/.	Captaciones, canales, desarenadores, vertederos, sifones invertidos.	61
3/.	Casos ilustrativos.	62
4/.	Problemas creados por usuarios, casos.	71
Capítulo V:		
<b>Vías de comunicación terrestre</b>		
1/.	Drenaje pluvial.	73
2/.	Cruces con cursos de agua – badenes, alcantarillas y puentes.	74
3/.	Casos ilustrativos.	79
Capítulo VI:		
<b>Centrales hidroeléctricas</b>		
1/.	Estructura de tamaño de las existentes y tendencias de desarrollo en el futuro próximo.	99
2/.	Problemas más frecuentes que se pueden identificar y sus orígenes.	100
3/.	Casos ilustrativos.	100
Capítulo VII:		
<b>Puertos y vías de transporte acuático</b>		
1/.	Puertos marítimos, protección, recuperación de playas y de orillas Urbanizadas.	102
2/.	Infraestructura de las vías de transporte fluvial.	103
3/.	Casos ilustrativos.	104

## Capítulo VIII:

### **Obras de regulación de ríos**

- |  |     |
|--|-----|
| 1/. Cursos mayores de agua – diques, revestimientos de orillas, espigones, umbrales contra erosión de fondo. | 110 |
| 2/. Casos ilustrativos.  | 111 |

## Capítulo IX:

### **Resumen del análisis de causales de problemas detectados en casos ilustrativos presentados**

- |  |     |
|--|-----|
| 1/. Obras de menor envergadura.  | 116 |
| 2/. Sistemas hidráulicos mayores.  | 117 |
| 3/. Las causales específicas de consultoría más frecuentes de las deficiencias en funcionamiento de obras hidráulicas. | 117 |
| 4/. Conclusiones generales.  | 118 |

## Capítulo X:

### **Casos de algunas obras de ámbito internacional y de amplia difusión en publicaciones**

- |  |     |
|--|-----|
| 1/. Presas y órganos evacuadores adjuntos.             | 119 |
| 2/. Puentes.   | 121 |
| 3/. Protección contra inundaciones.                    | 123 |
| 4/. Lecciones y algunos consejos para los consultores. | 124 |

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>Referencias Bibliográficas</b> | <b>128</b> |
|-----------------------------------|------------|

## Motivaciones acerca de escribir este libro

Durante el periodo de inicio de ejercicio de la profesión, un joven puede actuar como miembro de un grupo de profesionales de amplia experiencia, o iniciarse como lobo solitario. En el primer caso se vería beneficiado en su desarrollo por correr menor riesgo de sufrir mayores fracasos.

Los jóvenes profesionales que actúan desde el término de sus estudios en forma independiente, a pesar de la existencia de seguimientos y controles reglamentarios propios del gremio, corren elevado riesgo de tomar decisiones erradas. Su desenvolvimiento se caracteriza, a menudo, por el principio de prueba y error.

Como consecuencia, los resultados de su actividad arrojan presupuestos de obras sobrevalorados, o eventualmente llegan a ser materia de reclamos de índole profesional y económica por daños materiales y/o inclusive por lesiones físicas de trabajadores y/o usuarios.

Lo mismo es cierto en casos donde el proyectista, constructor y supervisor no tienen conocimientos o experiencia especializados para efectuar correcciones necesarias, a tiempo, antes que los montos de preinversión y/o inversión se vuelvan difícilmente controlables o excesivos por cualquier cambio introducido con ánimo de acercar el funcionamiento de la obra a lo esperado en operación y con un gasto modesto de mantenimiento.

Todos somos testigos, eventuales, de desaciertos en el ámbito de obras de ingeniería civil. Las decisiones inoportunas en la fase de diseño conceptual y posteriores fases de la consultoría, que deberían ser especializadas, resultan ser las más frecuentemente citadas como las causas.

En la historia de la profesión de Ingeniería Civil, las causas de fallas y colapsos de obras han ocurrido, aparte de la toma de decisiones erróneas, también por la falta de entendimiento de fenómenos naturales.

Uno de mejores ejemplos es la destrucción de puente Tacoma en Puget Sound, Washington (EEUU), que tuvo lugar en 1940. “Fue causado por

vibraciones con la frecuencia natural de la estructura producida por el viento” \*.

Sin embargo, el diseñador no analizó este aspecto de comportamiento de la estructura ya que antes no se había registrado algo semejante, menos con consecuencias tan nefastas.

Otros, varios, son ejemplos de colapso de presas de tierra, sobre todo en Brasil, en años de la cuarta década del siglo veinte; los que dieron motivo para definir los conceptos de la precipitación máxima probable y consecuente caudal máximo probable como uno de los criterios para el dimensionamiento de órganos evacuadores de excedencias de las presas de tierra.

En la ingeniería sismo - resistente este elemento de falta de oportunos avances en conocimientos sobre aspectos particulares de un evento sísmico y consecuente falta de perfeccionamiento de normas técnicas causaron diseños defectuosos y colapsos de estructuras así diseñadas en varias zonas geográficas de riesgo sísmico elevado.

En consecuencia, cual sea la razón de deficiencias y colapsos de obras civiles, existiendo retroalimentación, se puede reducir los riesgos y evitar la repetición de los errores en el futuro.

Acercar esos hechos al profesional responsable en la cadena de actividades hacia la creación de una nueva obra fue la intención fundamental que motivó al autor del presente libro para investigar y sistematizar, en parte, las causas reales de insuficiencia de desempeño profesional y consecuentes deficiencias y colapsos de las obras civiles hidráulicas específicamente.

El enfoque de este libro se orienta exclusivamente a los hechos netamente técnicos con la expectativa de que sirva a los lectores como un recordatorio de lo que no se debe perder de vista durante las etapas de servicios de consultoría (estudios y supervisión), construcción, operación y mantenimiento. El asunto de presupuestos se menciona solo en función de optimización de recursos mas no con la intención de buscar eventuales sobrevaloraciones pertenecientes a actos de corrupción.

- ... Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.

Se omite los nombres de las personas involucradas ya que el propósito es hacer que no se olviden hechos que puedan, a la larga, comprometer los resultados; así como promover y potenciar la búsqueda de soluciones conceptuales más creativas, las que siempre son también más sencillas y funcionales. Finalmente, el libro se ha concebido en forma muy práctica – ligera para leer y comprender- con la finalidad de hacerlo más atractivo, inclusive para aquellos que tienen poco tiempo y/o voluntad de leer, esperando que ayude a todos a desempeñarse mejor.

Capítulo I:

### **Potenciales orígenes de deficiencias en el proceso de creación de una obra civil hidráulica**

En la cadena de pasos que dan lugar a una obra civil con deficientes resultados operativos se puede diferenciar las siguientes fases sujetas a eventual toma de decisiones y/o actividades erróneas:

- Evaluación de la demanda para dar nacimiento al proceso de planificación del proyecto.
- Diseño conceptual y estudios técnicos más detallados posteriores (incluye definición de razonable nivel de riesgo de falla).
- Licitación, contratación del ejecutor.
- Construcción, por uso indebido de materiales, por deficientes procedimientos constructivos o por incumplimiento de la labor de supervisión (incompetencia, negligencia, corrupción...) y operación de prueba.
- Falta de previsión e instrucciones en el ámbito de operación y del debido mantenimiento.

#### 1/. Evaluación de las características de la demanda

Toda obra arquitectónica y civil es consecuencia de la existencia de una necesidad identificada por aquellos que serán beneficiarios o, más

frecuentemente, por las dependencias del estado y organizaciones especializadas de carácter privado basándose en estudios socioeconómicos y programas de desarrollo social.

La tarea de identificación de las necesidades de la población, más elementales o más importantes, requiere un análisis profesional. A pesar que algunas necesidades son notorias (como por ejemplo agua potable y saneamiento, educación, salud) se han dado casos de inversiones en infraestructura que puede impresionar, pero no resuelven ninguna de las necesidades esenciales de los pobladores.

El grupo de necesidades elementales comprende, tratándose de campo de hidráulica, suministro de agua potable con alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, sistemas de riego agrícola y drenaje, obras de piscicultura, preservación y manejo de humedales y manglares, generación de energía hidráulica en pequeña escala, minería artesanal responsable, navegación y pesca (ríos y mar), recreación y deporte.

Las obras de almacenamiento y conducción de agua son partes integrales de varios proyectos que ofrecen soluciones para las necesidades elementales y prioritarias.

A pesar que el gobierno de turno declare prioridades de naturaleza sensata en el campo de inversión pública, las comunidades son las que definen dónde invertir una parte del presupuesto. Los apetitos políticos pueden autocráticamente reclamar obras que normalmente se verían deseables y justificadas solo una vez alcanzado nivel de desarrollo económico sustancialmente mayor.

Todo profesional tiene el deber de ejercer influencia en comunidades para la difusión de los conocimientos específicos que posee, buscando elevación de nivel educativo, gasto responsable, mejoramiento de la cultura cívica y mejor ambiente social. Esta tarea, a menudo, no es posible desempeñar sin fuerte oposición de la mentalidad conservadora de los pobladores quienes, a veces, se encaprichan irracionalmente.

En estos casos se requiere más tiempo, pero trabajando con la gente de manera basada en propósitos humanitarios; lo cual hace posible cumplir

las metas de desarrollo satisfaciendo las necesidades en orden de verdaderas prioridades.

## 2/. Consultoría, responsable seguimiento y revisión del diseño

Diseño conceptual y estudios técnicos más detallados posteriores (incluye definición de razonable nivel de riesgo de falla)

Esta fase de actividad profesional requiere más creatividad y experiencia que cualquier otra posterior. Lamentablemente su importancia es subestimada por falta de entendimiento del proceso comprendido entre expresión de una necesidad y esfuerzos de satisfacerla, que pasan por estudios, realización de la obra y su adecuado uso y mantenimiento.

Los estudios técnicos, cuya parte básica es el diseño conceptual, requieren profundo conocimiento de las condiciones locales naturales, incluida la mentalidad de los beneficiarios; así como actualizados conocimientos especializados con información sobre casos particulares y tecnologías de soluciones viables.

El estudio implica planteamiento de soluciones “alternativas”, cuyo número no debería ser más de tres. Normalmente el proceso de búsqueda de soluciones debe ser SISTEMÁTICO apoyándose en la creatividad propia, bibliografía técnica, ejemplos existentes y observación de la naturaleza ((1) Kirk D. Hagen, 2009). Esta parte del proceso depende mucho de la calidad profesional del autor (proyectista) y lleva este sello subjetivo. En la siguiente fase se debe elegir entre posibles soluciones aquellas que sean objetivamente óptimas. Se debe:

- Seleccionar los criterios de evaluación definiendo su importancia relativa.
- Pronosticar el funcionamiento de soluciones alternativas en base a los mismos criterios.
- Efectuar selección de hasta tres soluciones (no olvidar que todavía estamos a nivel de SOLUCIONES CONCEPTUALES) que se detallarán

en el proceso de especificación (a nivel de un estudio de prefactibilidad y/o preliminar).

La facilidad de proceder creativamente depende del tamaño y clase de la obra a diseñar y de los límites de libertad que los términos de referencia del contrato le otorgan al proyectista. Cuando se trata de clase, tamaño de la obra, los proyectos conceptuales de obras como, por ejemplo, veredas de una a varias cuadras no dejan mucha opción al proyectista. Allí es realmente casi imposible demostrar la creatividad. Sin embargo, en la mayoría de los casos (fuera del ámbito de microproyectos), la limitante viene a ser la definición de la tarea expresada en los términos de referencia.

Frecuentemente nos enfrentamos a una situación donde “todo el mundo sabe cuál es la solución”.

Cito un ejemplo para ello: El puente “Independencia” sobre el río Piura, del Departamento Piura, en el Norte del Perú, ha sido construido tres veces y destruido dos veces. Hoy el puente actual se ve afectado:

- por reducción de la sección hidráulica a causa de deposición de sedimentos en el cauce aguas abajo y progresivamente hacia aguas arriba;
- por tendencia del río a formar meandros, uno de los cuales causa el paso del agua por debajo del puente encerrando la corriente principal, en planta, un ángulo de  $15^\circ$  en vez de uno más próximo a  $90^\circ$  con el eje longitudinal del puente;
- por consecuente reducida sección hidráulica e inadecuado ángulo de flujo de agua durante avenidas ocurre acumulación de “palizada” (plantas desplazadas por erosión de riberas y transportadas por mayores caudales) en los pilares y hasta en superestructura (plataforma de rodadura) del puente, reduciendo aún más la sección hidráulica y propiciando mayor erosión local junto a los pilares–apoyos de la estructura.



Figura N° 01: Imagen aérea de estado del puente Independencia afectado por avenida del año 1998

La solución que “todos conocen” es que ¡“El puente debe ser más largo”!

Nada de consideraciones sobre reales causas de problemas: “la gente sabe”.

En caso de la búsqueda de solución para la, hoy, reducida capacidad acumulativa, respecto a la original, del reservorio Poechos, sobre el río Chira (Norte del Perú) se ha asumido el camino burocrático:

¡“Si los profesionales del Proyecto Chira Piura (elaboran menores diseños, operan y mantienen el sistema) no han podido idear mejor solución que (una de las alternativas) la sobreelevación de la corona de la presa para restaurar la capacidad acumulativa, ¡entonces no hay mejor solución”!

La circunstancia, en este caso y otros, de solicitar financiamiento para solucionar el problema y no encontrar la respuesta durante mucho tiempo hace que cuando el clima político llegue a ser óptimo (disponibilidad de financiamiento) se tratará de elaborar alguna solución técnica de sentido común sin buscar soluciones más creativas y probablemente más económicas.

Esta posición, por más práctica que sea para realizar una obra, en vez de desperdiciar la oportunidad que ofrece el momento, hace que se conduzcan estudios de manera extremadamente apresurada (eventualmente se refuerzan los estudios parcialmente existentes sin buscar alternativas).

La principal influencia sobre lo que va a suceder con un proyecto depende de las siguientes circunstancias:

- Administraciones de proyectos que no se anticipan a los problemas. No se logra generar oportunamente la documentación técnica de óptima calidad.
- Las soluciones técnicas son respaldadas por expedientes técnicos eventualmente existentes. Estos requieren actualización si han sido elaboradas con mucha anticipación al momento oportuno de asegurar el financiamiento. En breve, los expedientes técnicos resultan obsoletos si no se actualizan continuamente.
- Los mecanismos de financiamiento público tienen estipulaciones legales demasiado rígidas, haciendo riesgoso un procedimiento que llevaría hacia una solución más racional; se puede requerir más tiempo o dinero del disponible, perdiendo así la oportunidad de realización de la obra.
- A pesar de que el costo de estudios técnicos (consultoría) rara vez supera el 5% de presupuesto de obra, este gasto se ve como poco productivo. No obstante, en la realidad, la consultoría de calidad es la que tiene crucial importancia para la calidad de la obra (ver “Introducción a la Ingeniería Civil Forense”, - Causas de Fallo, Luis Caballero) y no debe ser el ítem de “ahorro”.
- El proceso de selección de proyectista muy a menudo se reduce al círculo cerrado propio de determinada institución pública. A este círculo se entra bajo condiciones especiales no alcanzables para muchos (ni siquiera ofreciendo pago de una “membrecía”, como me comentó un ingeniero en Tarapoto) impidiendo así que algunos planeamientos más creativos lleguen a ver la luz del día.

- Una solución propuesta de manera individual, por profesional independiente, por más creativa que sea, ni siquiera encuentra interés alguno entre los responsables de toma de decisiones

Tratándose de **seguimiento y supervisión** de estudios se pueden presentar drásticamente distintas situaciones.

Podría decirse que estas actividades usualmente alcanzan adecuados niveles técnicos y éticos en casos de grandes obras gracias a la selección de profesionales y/o entidades de conducirlos de manera más democrática mediante licitaciones internacionales. Lamentablemente ni eso garantiza selección del postulante idóneo por influencias políticas tal como se ha descubierto en caso de corrupción generalizada promovida por la empresa brasileña Odebrecht.

En caso de proyectos de menor escala, muy frecuentemente los seguimientos y/o supervisión se convierten en procedimientos protocolares de poca seriedad. Llegan hasta extremos donde la persona responsable de dirigir una unidad de crear soluciones conceptuales le indica a uno de sus colaboradores que su trabajo será revisado por una persona seria así que, nada más por esto, debe modificar la propuesta consciente que su calidad no satisface esenciales criterios técnicos y de sentido común.

De otro modo deja pasar cualquier cosa esperando que el revisor sea “leal” al espíritu de cuerpo y dé pase sin cumplir su rol. Este tipo de actitudes, que es todavía peor, se exponen en reuniones internas como algo natural que tiende a deslindar las responsabilidades a favor de la persona encargada de la unidad. Si los procedimientos fueran correctos, una solución con deficiencias se retiene en la fuente por revisión interna antes que pueda llegar al siguiente nivel de revisión.

Tales situaciones ilustran climas de trabajo donde miembros del grupo se relacionan con familiaridad en su forma negativa; para evadir responsabilidades se encubren mutuamente y el líder no tiene valor de actuar como debe. Es muy frecuente encontrarlo en gobiernos locales y regionales.

Que esto no es una excepción en el Perú, y no solamente en el sector público, se puede corroborar con la siguiente cita ( (1)) de Juan Felipe Pons Achel, (2011):

mismo, en estos últimos años, se han puesto de manifiesto los problemas crónicos que arrastra el sector de la construcción en España desde hace varias décadas: modelos de gestión obsoletos, baja productividad, escasa planificación, control de calidad ineficaz en las obras, profesionales poco cualificados, proyectistas con escasa experiencia, elevado número de subcontratas, constructores y promotores sin experiencia nacidos a raíz del *boom* inmobiliario, elevado número de trabajadores poco cualificados que normalmente absorben los sectores de la construcción o los servicios, escasa transparencia del sector y, en general, una falta de confianza y respeto entre promotor y cliente, e incluso entre constructores y sus proveedores o subcontratas.

### 3/. Licitación, contratación de los ejecutores (constructor y supervisor)

Los procesos de licitaciones definen los criterios de selección del ganador. Aunque la mayoría de profesionales eventualmente no estará de acuerdo, considero que esta es una tarea tan importante como lo es la búsqueda de soluciones conceptuales óptimas en la práctica de consultoría orientada al diseño.

Es necesario tener amplia experiencia en diseño, supervisión, construcción y mantenimiento para poder seleccionar adecuados criterios que permitirán definir al mejor postor en términos responsables.

En primer lugar, usualmente, los profesionales que elaboran estas condiciones no tienen ninguna especialidad y solo tienen la experiencia burocrática, habiendo hecho una y otra vez lo mismo, partiendo de copias de lo que encontraron como antecedentes.

Buena parte de las limitaciones generales están dictadas por las normas legales, formuladas en la mayoría de casos en base a tendencias que tratan de impedir asociaciones ilícitas y postulaciones fraudulentas. Fuera de ello se incorporan criterios de experiencia del postor, sus capacidades operativas, su fortaleza económica, composición de recursos humanos y compromisos de contrataciones locales, plazos y presupuesto referencial.

Pero también se encuentran cláusulas orientadas a condicionar detalladamente aspectos netamente técnicos y de creatividad en ejecución de la tarea. En esta parte es donde se inmiscuyen exigencias tan detalladas que, en parte, liberan al proyectista de su plena responsabilidad y/o le impiden actuar creativamente; hasta adaptarse a ser un postor específico que tuvo la precaución de comprar “el seguro” de ganar.

En licitaciones de servicios de consultoría (casos de la modalidad de contrataciones “llave en mano”) esto es muy notorio, particularmente en condiciones netamente específicas respecto a la formación académica del staff profesional, así como buscados detalles de experiencias referentes a tipo de problema y duración de periodos de involucramiento que, frecuentemente, no tienen ninguna sana relación con la tarea de solucionar problemas y se ven abiertamente sesgadas.

Hay empresas de índole internacional que se preocupan, en medida difícil de justificar, pero fácil de entender, de los “gustos” que tengan los funcionarios de entidades estatales que otorgan la “buena pro” respecto al tipo de soluciones técnicas que la entidad presentará en la licitación.

En reuniones de trabajo y a través de “inteligencia” se conduce un cuidadoso análisis de cuál tipo de soluciones le parecen más acertadas al funcionario (dicho sea de paso, rara vez especialista) y después se hace lo imposible para justificar una de estas, esperando naturalmente la mayor simpatía en el proceso de selección del ganador de la licitación.

Los servicios de supervisión en obras menores se otorgan de semejante manera, respetando de sobra y con exagerada rigidez algunas restricciones legales que descartan la participación de profesionales probos y con valentía para obligar al ejecutor a cumplir su tarea de la mejor manera posible.

En el proceso de selección no se incorporan cláusulas de **experiencias exitosas**, solo se pide experiencia sin exigir las pruebas de cómo haya terminado el servicio. De este modo la mayoría de trabajos los ganan empresas y profesionales de pésimas referencias que no solamente no tienen ninguna evidencia de experiencias exitosas sino, en cambio, tienen un historial

de juicios por incumplimiento. Los funcionarios de entidades que otorgan buena pro a tales individuos y/o empresas se defienden con que si no hubieran actuado como lo hicieron corrían el peligro de ser enjuiciados.

No existen iniciativas legales para obligar a los postulantes a probar que sus experiencias han sido exitosas.

Por otro lado, los términos de referencia pueden contener estas y otras exigencias particulares que beneficien la calidad de servicio.

Sin embargo, son raras las entidades que las incluyen porque una licitación completamente ajustada a lo positivo no deja opciones de cobros indebidos de ninguna parte. Tampoco se podría dar el caso de ganar un postor con falta de capacidad profesional y del criterio suficiente.

Es muy común la formación o existencia de asociaciones de contratistas para garantizar “mejor” distribución de obras ganadas. Por lealtad al “espíritu del cuerpo” los participantes dejan de lado la sana competencia. Esos grupos elaboran las propuestas de modo conjunto decidiendo cada vez a quién le toca ganar la obra en particular. El secreto es que el “ganador” resulta tener la mejor propuesta (todo acordado previamente) ya que los demás han presentado las propuestas que a sabiendas perderán. Así nadie puede decir que no se haya respetado la ley.

#### 4/. Construcción y operación de prueba

Las fallas en el cumplimiento de la calidad de obras civiles no debidas a los estudios se clasifican, principalmente, como causadas por inadecuada calidad de materiales e incorrectos procedimientos tecnológicos.

Asumiendo que la documentación técnica no presenta deficiencias, se puede afirmar que el contratista carga con la responsabilidad compartida con la supervisión. Si la supervisión se maneja con bajo presupuesto (fuera de otras razones posibles de pobre desempeño), es probable que el papel de la supervisión sufra grave revés. Asimismo, numerosas modificaciones de lo exigido por las especificaciones técnicas del estudio,

introducidas en la obra, sin cuidadosas verificaciones, pueden alterar los logros deseados. A veces se dan intentos de influencia sobre lo que debe hacerse por parte de los funcionarios de las entidades que administran o administrarán la obra terminada. No necesariamente deben rechazarse (durante la fase de conceptualización de la obra inclusive pueden ser bien venidas) pero deben ser sometidas a serios cuestionamientos. En este caso la supervisión tiene la obligación de poner las cosas en su sitio.

¡La aceptación benévola de tales intromisiones desprovistas de sustento legal puede derivar en una absurda situación; como, por ejemplo, ¡modificar el trazo diseñado de un conducto con flujo a presión para que siga el trazo propio de un canal con espejo de agua libre!

En casos de obras municipales, especialmente en el ámbito de la sanidad ambiental, existe un muy elevado porcentaje de incumplimiento de contratos. Después de la paralización de una obra, por abandono o por orden de la supervisión; tras largos juicios recién se puede organizar cómo concluir la obra. Tal como se ha comentado en el punto anterior, la principal responsabilidad por esta situación recae sobre la inadecuada conducción del proceso de la licitación.

Los términos de referencia son una poderosa arma para lograr que los trabajos sean adjudicados realmente al mejor postor y, también, para impedir que los postulantes poco serios ganen la buena pro. Muchas veces es preferible tener desierta la licitación antes de forzosamente otorgar la ejecución a un inadecuado postor.

Es indudable que el papel de la supervisión tiene mucho que ver con la calidad final y la operatividad de la obra.

Durante el periodo constructivo se presentan circunstancias que requieren actuar con criterio apropiado tomando decisiones en plazos muy ajustados.

Particularmente son complicadas las situaciones cuando no se puede contar con la opinión del proyectista y son el contratista con la supervisión quienes definen cómo actuar.

Cómo operar y mantener una obra, por más sencilla que sea, es considerado cosa de sentido común. Los manuales de operación y mantenimiento no representan normalmente parte de las exigencias que el proyectista debe cumplir. Esta clase de manuales, sin embargo, son parte ineludible en otras industrias. Es verdad que, en el caso de productos industriales, tenemos grandes cantidades de unidades idénticas, por lo cual el costo de investigación y prescripción de las reglas de operación y mantenimiento no encarece significativamente el precio unitario.

En la industria de ingeniería civil, particularmente hablando de obras hidráulicas, cada una de ellas puede ser sustancialmente diferente como un todo.

No obstante, los componentes elementales son muy semejantes; por lo cual, la complejidad podría reducirse sistematizando recomendaciones para los elementos y solo se debería diseñar prescripciones particulares para la obra como tal.

Entre las obras hidráulicas diferenciamos aquellas para las cuales se condujeron oportunamente (en la fase de diseño de factibilidad) los estudios en modelos hidráulicos (y/o estructurales). Existencia de resultados de tales investigaciones permite incluir en la documentación técnica instrucciones referentes a cómo operar la obra. Generalmente se trata de obras de evacuación de excedencias adjuntas a las presas, puntos de control mecánico de caudales y otras semejantes. Sin embargo, muchas obras hidráulicas de menor envergadura son diseñadas en base a relativamente limitada documentación técnica, careciendo completamente de pautas sobre cómo operar la obra.

La operación de prueba de obras hidráulicas apoyada por manuales es buena idea. El personal que operará la obra debe componerse por personas proactivas, profesionalmente bien preparadas y con la dosis suficiente de capacidad de sacrificio. Durante la operación de prueba, los ejecutores serán inducidos a las tareas particulares conceptuadas por representantes del proyectista, del constructor, de proveedores de equipos y de la supervisión.

Aparte de la ausencia de manuales, una obra en operación puede crear una serie de problemas que no han sido tomados en cuenta en la etapa de estudios técnicos. Tomando como ejemplo el sistema de abastecimiento de la población con agua potable, si se deja de cumplir a cabalidad con los usuarios al omitir un proyecto de construcción de obras complementarias, como lo son alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, en muy poco tiempo esto será notorio y un éxito político se puede convertir en una pesadilla sanitaria para los usuarios.

Estamos viviendo en una época que las soluciones ofrecidas a la población en algunos campos no pueden ser parciales. La costa peruana, hoy, es una zona expuesta a estrés hídrico y no tomar este hecho en el planeamiento de satisfacción de las necesidades básicas de la población resulta inadmisibile.

Al ofrecer solo el agua potable, sin complementos de manejo y tratamiento de aguas residuales, se eleva drásticamente el riesgo de contaminación ambiental y consecuente reducción de disponibilidad de las fuentes de agua cruda elegible para el abastecimiento.

Lamentablemente, a pesar de las tendencias reglamentarias, esta es una realidad frecuente; en parte, causada por irresponsabilidad política y falta de criterio técnico de los gobiernos locales y regionales.

## 5/. Operación y mantenimiento

Saber bien qué y cómo hacer es la base de seguridad contra desarrollos no deseables. Como se ha dicho, eso depende en mayor medida de la óptima selección del personal y de su estabilidad. Un favorable clima laboral implica identificación con las tareas, dedicación y capacidad de sacrificio tan necesaria en momentos críticos. La operación y mantenimiento de una

estructura hidráulica requiere del personal encargado que, de vez en cuando, entre (como se hace en las fuerzas armadas, la policía y los hospitales) en estado de inamovilidad durante prolongados turnos, dando lo posible de sí para cumplir con las tareas.

Tal como se ha comentado en el punto anterior, estos procedimientos deben ser normados por manuales y especificaciones contenidas en la documentación técnica. No hace mucho, las instituciones públicas gobiernos locales, regionales y dependencias descentralizadas de ministerios, han estado en una situación de no tener fondos específicos ni pautas precisas porque los rubros de operación y mantenimiento no estaban incorporados en los expedientes técnicos. Solo en algunos casos, como fue con el Proyecto Especial Chira Piura, sí se ha exigido al contratista dejar instrucciones sobre estados límites de la seguridad de la infraestructura de la presa. La empresa “Energoprojekt” dejó instrucciones claras en este sentido incluidas las reglas de operación del reservorio Poechos.

Hasta el inicio del año 2017, tenía que respetarse forzosamente los procedimientos del SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública) que obligaba, al menos, evaluar los costos de mantenimiento durante la comparación de alternativas de solución técnica. Todavía existe un gran vacío respecto a cuándo y cómo realizar mantenimientos preventivos.

Las reglas de operación solo existen para los grandes proyectos que sustentan los procedimientos operativos en resultados de investigaciones en modelos físicos y matemáticos enriquecidos en tiempo con experiencias en la obra.

Los profesionales idóneos para tareas de operación y mantenimiento son, al menos para cargos de liderazgo, de ser posible, aquellos que participaron como integrantes del personal de la supervisión y ejecución de la obra.

La inadecuada política de precios de agua, una realidad en todos los rubros de consumo del recurso, es el problema más importante que afrontan las instituciones administradoras de obras hidráulicas.

Sin medios financieros no se puede cumplir con requerimientos.

En resumen, el buen funcionamiento de una obra hidráulica se ve, por ahora, afectado seriamente por faltas que van desde inexistentes manuales (en la mayoría de los casos), hasta falta de personal idóneo y mantenimiento preventivo; no existiendo medios económicos suficientes para financiar estos rubros.

## 6/. Retroalimentación

La retroalimentación es esencial para la práctica de las ingenierías. Es una parte de suma importancia del ciclo de proyecto que debe comparar los propósitos del proyecto específico con los logros obtenidos en obras semejantes, permitiendo planificar y conceptualizar mejoras antes de finalizar los estudios.

La retroalimentación requiere de un cuidadoso y sistemático seguimiento, así como de investigación con procesamiento estadístico. En pocas palabras, es una tarea de investigación compleja y muy útil, requiere recursos humanos altamente especializados y medios financieros tanto como decisión política favorable. Las industrias farmacéuticas, de automóviles y semejantes la practican. En la Ingeniería Civil la practican de manera organizada, protocolar, algunas instituciones a nivel mundial como lo fueron algunas en la Unión Soviética y, como lo es hasta hoy el “Bureau of Reclamación” de EE UU en ciertos aspectos, ciertos institutos y laboratorios, empresas productoras de geo sintéticos, gaviones, tuberías y semejantes; así como, en parte, lo es CONCYTEC del Perú.

La práctica sin retroalimentación conlleva a la repetición de errores y fracasos.

Con el propósito de exponer los hechos reales al describir las prácticas existentes de retroalimentación técnica dentro de las organizaciones administradoras de obras hidráulicas, de diferentes rubros, sería necesario que el vínculo del administrador con el diseñador y con el contratista no se acabe después de la entrega y respectiva recepción de la obra. Un posible obstáculo en semejante relación lo representan las normas legales de

responsabilidad por los resultados; que no estimulan el reconocimiento de las eventuales deficiencias. Los pocos casos donde la retroalimentación podría incorporarse como práctica obligatoria sin mayores obstáculos, pertenecen a la circunstancia de cuando la misma entidad tiene todas las funciones involucradas: diseño, supervisión, construcción, operación y mantenimiento. Eso sucede en menor parte en las empresas de servicios de saneamiento (agua potable y la sanidad ambiental correspondiente). Estas empresas tienen obligación de realizar inversiones en redes de distribución de agua potable y alcantarillado y a menudo lo cumplen con administración propia.

Semejante podría ser la situación en todas las administradoras de obras hidráulicas tratándose de inversiones menores.

Siendo la retroalimentación parte indispensable de un racional ciclo de proyecto, se ha previsto como parte en el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) del Ministerio de Economía y Finanzas. La creación del SNIP data del año 2000. La retroalimentación ha empezado a ser formalmente práctica obligatoria recién el año 2012 ((4): Nota de prensa):

“El Ministerio de Economía y Finanzas” (MEF), a través de la Dirección General de Política de Inversiones (DGPI), pone a disposición de los operadores del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) los instrumentos metodológicos para poder efectuar la evaluación ex post de los proyectos de inversión pública, los que fueron elaborados gracias al esfuerzo conjunto del MEF y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).”

La evaluación ex post de proyectos de inversión pública tiene dos objetivos principales:

- Retroalimentación, a través de las lecciones y recomendaciones para mejorar la administración y desempeño de la inversión pública, para el mismo proyecto evaluado, proyectos similares y políticas del sector.
- Transparencia, tanto del proceso como de los resultados de la inversión pública.

**Tabla 1.1 Los Cinco Criterios de Evaluación**

<b>Pertinencia</b>	Medida en que los objetivos de un PIP son coherentes con las necesidades de los beneficiarios, los contextos regional y local, y las políticas del país.
<b>Eficiencia</b>	Medida en que los recursos / insumos (fondos, tiempo, etc.) se han convertido económicamente en productos (output) del proyecto. Se asocia con los componentes de un PIP.
<b>Eficacia</b>	Medida en que se lograron o se espera lograr los objetivos del PIP. Se asocia al propósito del PIP y los fines directos.
<b>Impacto</b>	Cambios de largo plazo, positivos y negativos, primarios y secundarios, producidos directa o indirectamente por un PIP. Se asocia con los fines de un PIP.
<b>Sostenibilidad</b>	Continuidad en la generación de los beneficios de un PIP a lo largo de su período de vida útil. Se asocia con el mantenimiento de las capacidades para proveer los servicios y el uso de éstos por parte de los beneficiarios.

**1.2.2. Relación de los Criterios con el Modelo Lógico de un PIP**

(copia (5) Ministerio de Economía y Finanzas, 2012)

Naturalmente es necesario saber a quién le compete realizar las evaluaciones:

¡Esta tarea se encarga a las Unidades Evaluadoras, Operadores de Servicio y hasta contratistas! En opinión del autor de estas líneas, las pautas representan un esquema demasiado sofisticado para la capacidad de comprensión completa de los que deben pronunciarse.

Para verificar cómo ha funcionado esto, en realidad se ha conducido una encuesta entre los profesionales en ingeniería civil miembros activos de Colegio de Ingenieros del Perú y, específicamente, con (un) grupos relacionados con obras hidráulicas (entre ellos también los de especialidad de Ingeniería Agrícola e Industrial empleados en empresas administradoras de obras hidráulicas). Los resultados de la encuesta se comentan en el segundo capítulo bajo título “2/. La realidad antes y después” (refiriéndose al SNIP).

Realmente, la retroalimentación, en forma general, históricamente, se practicaba gracias a ocasionales problemas de integridad estructural de

las obras y de cumplimiento de sus funciones; situaciones que requieren intervención de especialistas haciendo el análisis inverso (ingeniería inversa propia de la Ingeniería Forense). Los resultados se exponen posteriormente como experiencias en congresos y revistas científicas y, finalmente, en manuales destinados a proyectistas y constructores. A menudo representan un punto de inflexión para las teorías científicas bases de normas técnicas especializadas.

Hoy, disponiendo de las teorías de Gestión de Calidad, que son parte de “Lean Construction”, al menos en el proceso constructivo, se aplica la retroalimentación con la finalidad de gestión de calidad y consecuente mejora continua durante el proceso respecto a lo planeado.

Es indudable que estos principios son aplicables a todas las actividades, por lo cual también competen al proceso de diseño. Si en la construcción no ocurren drásticos cambios de lo planeado en el proceso de diseño, la retroalimentación entre uno y otro proyecto implica eventualmente cambios sustanciales de conceptualización de las soluciones a proponer. La principal dificultad es, de nuevo, la inexistencia de una entidad que recopile y procese lo aprendido para el beneficio de todos. Este vacío fue llenado con relativo éxito, por asociaciones internacionales, como ICOLD (International Committee for Large Dams). ICOLD asocia a profesionales y empresas líderes del sector de consultoría y construcción en este rubro de todos los países miembros (cada país tiene su Comité Nacional) y emite criterios, normas y lineamientos de orientación especializados considerando todos los aspectos de interacción entre la obra y medio ambiente.

En otros rubros, eventualmente no existe tanta especialización en cumplimientos de la tarea de manera globalizada, lo que contribuye al mayor tiempo entre conceptualización de una mejora y su aplicación en todos los países. Como ya se mencionó al principio de este punto, la industria de elementos, como son tuberías, equipos hidromecánicos y partes semejantes de obras hidráulicas, se adapta, por competencia en el mercado, más rápido a nuevas y mejores soluciones gracias a la constante investigación, contribuyendo así al progreso debido a la retroalimentación.

En el siguiente párrafo se cita literalmente la opinión de editores de ASCE Smart Brief del 28 de febrero de 2017 (16) como consecuencia de problemas de la rápida de aliviadero de la presa Oroville:

“Progress is rarely ever a straight, ascending line. More often than not, accidents will happen in the pursuit of higher technology and practices. Failure is something that engineers and scientists must both be ready for and expect, because failure is what inspires so many people to become better. That said, civil engineering is a field that does not have a lot of room for error. However, despite the best efforts of all professionals involved in the field, these errors may happen and cost governments millions of dollars in collateral damages. While such failures may be demotivating at first, they would eventually go on to inspire others to improve upon the errors that had occurred in the first place.”

## 7/. El propósito de este libro y la Ingeniería Civil Forense

El enfoque de este libro se orienta exclusivamente a los hechos netamente técnicos, con la expectativa de que sirva a los lectores como un recordatorio de lo que no se debe perder de la vista durante las etapas de servicios de consultoría (estudios y supervisión), construcción, operación y mantenimiento de obras hidráulicas específicamente. Coincide plenamente con el propósito preventivo de la Ingeniería Civil Forense según L. Caballero: “reducir el riesgo de fallo en un producto ingenieril y mejorar su rendimiento y su coste” ((2) L. Caballero, 2011).

En otras palabras, la investigación de datos bibliográficos (incluidos los archivos técnicos que estuvieron disponibles al autor), encuestas y experiencias propias, no se relacionan con acciones legales ni tampoco como evidencias. Sin embargo, se destacará con claridad a qué fase de actividad en la profesión se debe la mayor parte de errores causantes de las deficiencias en el funcionamiento y/o colapsos conocidos por el autor.

La Ingeniería Forense, sin embargo, sirve para “Reconstruir la secuencia de sucesos a una pérdida económica o a lesiones..., ayudando a determinar remedios y responsabilidades”. Otros autores relacionan la Ingeniería Civil Forense, a pesar de una definición que no lo expresa directamente, como “Ingeniería Forense es el arte y ciencia de evaluar la causa o las causas de fallas en las estructuras” ((3) Eduardo A. Fierro, 2013), casi

exclusivamente con los procesos legales. Respondiendo a la pregunta “¿Quién necesita un ingeniero forense?” Fierro responde: “dueño, agente de seguros, reasegurador, abogados del dueño, del agente de seguros, del asegurador y las personas damnificadas por la falla”.

¡Todo esto tiene exclusiva connotación legal!

No obstante, es indudable, también, que los hechos expuestos en un documento como el presente, podrían utilizarse con fines legales, (si, sería posible intentar a utilizar con fines legales,) por lo cual el autor decididamente declara que no autoriza tales usos ya que este libro no está concebido con tal finalidad.

Capítulo II:

## **Situación del sector de consultoría y construcción de obras hidráulicas en el Perú desde la inauguración del SNIP**

1/. Supuestos de SNIP, año 2000

El Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), fue ideado por el Ministerio de Economía y Finanzas como un mecanismo para reducir el “uso ineficiente de recursos públicos” debido a proyectos duplicados, no sostenibles, sobredimensionados y sobrevalorados, de alto riesgo, contradictorios a las políticas sectoriales y no rentables socialmente.

El sistema divide el ciclo del proyecto en tres fases decisivas:

- ✓ Pre Inversión,
- ✓ Inversión,
- ✓ Postinversión, previendo retroalimentación entre esta última y la primera fase.

La retroalimentación, que está prevista entre la última y la primera fase, es un punto más a favor teóricamente. Funciona, siempre y cuando todos los participantes logren entender bien las pautas, relativamente algo complicadas; y que tengan todas buenas intenciones; cosa que nadie puede garantizar ya que, dados los antecedentes, apuntan hacia una menor utilidad. El contubernio tradicional entre los empleados de los gobiernos de

distintos niveles con el sector productivo indudablemente ha encontrado maneras de burlar los idílicos propósitos del sistema.

A pesar de todos los factores en contra, SNIP ha logrado reducir en algo el caos que gobernaba el uso de recursos públicos.

Últimamente (agosto 2016), el Premier del gobierno de turno Fernando Zavala, declaró que habrá un nuevo sistema que sustituirá al SNIP para "enfocarlo en el logro de niveles de servicio y cumplimiento de objetivos en retorno social".

## 2/. La realidad antes y después

Habiéndose producido serios abusos de recursos públicos antes de instaurarse el SNIP, después del año 2000 se comienza a analizar la existencia de justificaciones para evitar despilfarros del dinero público. Nuevamente, semejante a la seriedad que se tuvo siempre en la selección de proyectistas, constructores y supervisión de grandes obras, en el SNIP esta clase de obras recibe también un trato que puede llamarse mucho más adecuado que el resto.

Si se habla sobre elaboración de perfiles de pre inversión (PIP), primera pieza ineludible del sistema, los objetos de este paso en consultoría (estudios preliminares) llegaron a ser cantidades de micro obras donde todo resulta forzoso: la demanda que no guarda ninguna relación con una política integral, justificación económico financiera y finalmente solución conceptual misma que pierde naturaleza propia convirtiéndose en pieza de mosaico sin tener idea sobre el cuadro general que se obtendrá.

Entre ejemplos de problemas de documentación técnica se encuentran: demandas expresadas por personas motivadas por "ayudar a alguien cercano", los diseños - cuando existían, hechos por estudiantes de facultades de ingeniería civil y arquitectura (firmados por los que cobraban el servicio, o profesionales recién titulados), proyectos con un análisis económico – financiero artificial sugiriendo falsamente un significativo factor beneficio – costo, todo evaluado por gente de muy poca experiencia. Dentro

de ello el extremo representaban los autores – economistas que solían trabajar sin estudios técnicos hechos por profesionales especializados.

Los sustentos para los “árboles de causas y efectos” y de “medios y fines” se elaboraban sin real comprensión (por exceso de sofisticación para la mayoría de los participantes); solo para cumplir con la formalidad cuando eran ideados para identificar necesidades verdaderas y ayudar al proyectista a conceptualizar la solución a proponer.

El presupuesto referencial de la mayoría de las obras, en fase de expediente técnico, superaba dos o más veces el límite de 20% de diferencia respecto al presupuesto del PIP. Era de esperar que esto suceda, ya que los estudios técnicos de los PIP fueron elaborados sobre una base técnica muy superficial, de escaso soporte en trabajos de investigación de campo. Las sorpresas, inclusive para pequeñas obras, eran casi garantizadas y SNIP no permitía incluir en el presupuesto el rubro “gastos no previstos”. Como consecuencia de ello hubo gran número de los PIP que tenían que ser dados de baja para elaborarlos de nuevo por insuficiencia técnica o presupuestal.

En pocas palabras, el SNIP se ha mostrado ineficiente por estas razones, añadiendo que el control central (fue un sistema manejado centralizadamente, lo que también causaba ciertas demoras) no podía acertar observaciones más allá de exigir cumplimiento de pasos notoriamente obligatorios para obtener un resultado satisfactorio dependiendo, casi completamente, del evaluador local.

Los evaluadores locales, que se supone debían tener mayor conocimiento y experiencia que los proyectistas, estaban siendo asignados entre profesionales recién titulados “porque alguien debía firmar”, como dijo un profesional de amplia experiencia en el SNIP a quien se ha entrevistado. Lo que sucedía es que las observaciones se concentraban en lo que un personaje de tales características podía ver, referidas principalmente a definiciones de elementos para obtener el presupuesto. ¡El análisis de criterios de fondo, conceptuales, de las soluciones técnicas ofrecidas, simplemente no eran algo sobre lo cual el evaluador podía opinar!

Cualquiera que resulte ser el nuevo sistema debe potenciar participación de profesionales suficientemente capacitados, obras con ciertos propósitos planificadas en su integridad y sin tinte político, motivadas por orden de prioridades humanas viviendo en sociedad.

El autor ha entrevistado algunas personas del ámbito de gobiernos de distintos niveles: desde central hasta local de municipalidades distritales.

Se ha conversado con participantes activos de unidades formuladoras, evaluadoras, funcionarios y profesionales miembros de grupos con más de siete años de participación, así como destacados miembros de grupos y funcionarios.

La impresión general que ellos expresaron es que más del 50% de los perfiles de Preinversión tuvieron alguna clase de dificultades:

En caso de pequeños y medianos proyectos se trataba de la demanda evaluada de manera superficial, sin consistencia y sin articulación de datos, proyectos no creativos, elaborados por no especialistas, con manipulaciones, licitaciones sesgadas sujetas a actos de corrupción, construcción y supervisión deficientes (contubernios donde el supervisor es un profesional – subcontratista y/o dependiente del contratista).

Las instrucciones - pautas para la elaboración de informes expost (retroalimentación en otras palabras), que existieron desde marzo de año 2012, no llegaron a introducirse en la práctica; al menos hasta septiembre de 2016, cuando realizaron las entrevistas para el presente libro. Al sistema le faltó esta parte estructural esencial para tener verdadero éxito; así que poco a poco se ha ido deformando respecto a sus ambiciosas y desde todo punto de vista justificables y loables pretensiones. La mentalidad criolla siempre ha podido más, en este campo, así como en otros. Las normas existen si se respetan y si existen medidas de fuerza contra los que no las cumplen. Es muy difícil tratar de obligar a seguir el camino recto a un ambiente social donde casi todos tienden hacia el “entendimiento mutuo”, en cómo no cumplir las normas para lograr metas particulares, perdiendo estas normas toda la fuerza en ausencia de quien las imponga.

Lo interesante es que, en la selección de proyectistas, por ejemplo, eventualmente se trataba de una cadena de intermediarios de cuatro niveles, en la cual el primer nivel representaba a una persona allegada a la autoridad y el subnivel donde se cumplía con la tarea era el tercero. Es lógico de suponer que en niveles superiores rige un régimen semejante.

¡Una breve verificación: en la página de MEF se ha podido comprobar que en la región Piura no se registra ni un solo perfil de Preinversión caracterizado como no viable! A nivel nacional se registra una lista de menos de diez proyectos.

Esto también es la prueba que confirma la opinión aquí vertida de la falta de controles internos serios (antes que PIP salga de la unidad formuladora y en el proceso de la evaluación oficial). Sin embargo, es muy probable que existan numerosos perfiles de Preinversión (inclusive con expediente técnico) que no van a ver luz del día porque las autoridades al fin, en algunos casos, se dieron cuenta que esto sería un fracaso, peligroso desde el punto político. A esa mentalidad, al fin racional, es más probable encontrarla en grandes centros urbanos donde la opinión pública es menos tolerante que en un pueblo chico. Aun así, todo lo que se ha gastado después de la elaboración del perfil de Preinversión es dinero desperdiciado.

Como conclusión se puede afirmar que, al fin y al cabo, SNIP ha sido abusado también en la medida en que los participantes de distintas unidades y los funcionarios necesitaban cubrirse unos a otros, cumpliendo formalmente con los procedimientos oficiales, prestándose a actos de manipulación de datos y asociaciones ilícitas para sacar provecho personal o grupal. En referencia a la parte técnica únicamente, la ausencia total de investigaciones de campo (topografía, geología, mecánica de suelos, hidrología...) o investigaciones de campo deficientes e incluso ficticias, es otro elemento que va contra planeamientos certeros, causando el mismo perjuicio al Estado Peruano por inversiones fallidas. Como ejemplo de este tipo de prácticas, que deberían ser caracterizadas como delincuenciales, se menciona el proyecto de saneamiento de "La Obrilla" consistente en la perforación de un pozo de agua subterránea, tanque elevado, red de

distribución de agua y alcantarillado. ¡Habiéndose construido todos los demás elementos del sistema se perforó el pozo recién como última pieza! Ni calidad ni cantidad de agua que se halló cumplían ni de cerca con lo mínimo aceptable. La fuente de agua es el primer e incondicional sustento para poder proceder con estudios de agua potable y saneamiento. Un razonamiento respaldado por una conciencia limpia no permite entender cómo se pudo producir tal fracaso. Por suerte, en este caso, se pudo encontrar agua en un canal de riego relativamente cercano.

Semejante es el caso de la localidad Cruz de Caña, del kilómetro 25 en el camino de Piura a Chulucanas. Se hizo lo mismo sin opción a remediar la falta de agua: las obras se quedaron sin uso alguno habiéndose gastado dinero público para que el proyectista y el contratista se llenen los bolsillos. La priorización de otras obras antes de confirmar la fuente es un desorden inducido por el contratista porque, posiblemente, sabía que no había agua. El supervisor debía haber insistido en lo correcto, pero a sabiendas aprobó lo contrario. El proyecto fue aprobado por SNIP (código 244966, monto S/. 3'981,694).

Estos ejemplos se han obtenido por medio de entrevistas a pocas personas que estaban dispuestas a decir la verdad. Esto hace sospechar que el número de proyectos fallidos ha sido mucho más grande a nivel nacional, cosa que puede haber influido en la decisión del gobierno de turno (desde julio del año 2016) para no continuar con el mismo sistema.

Un análisis crítico ((6) Walter Andía V., 2004) menciona cinco deficiencias que se pretendieron corregir con el SNIP:

Primero: *Falta de cultura de proyectos,*

En opinión del autor del presente trabajo, la mayoría de los participantes: formuladores, ingenieros (que colaboran con economistas encargados de perfiles y expedientes técnicos) no está preparada para esta actividad (tal como se mencionó anteriormente). Como ejemplo se puede mencionar que los estudiantes universitarios de la carrera de arquitectura cursan alrededor de once talleres de diseño, mientras los ingenieros civiles y especialidades afines no tienen ni un curso de diseño propiamente dicho.

Segundo: *Las cualidades de los documentos de consulta (manuales: aclaración del autor del presente) se deben caracterizar por su claridad, simplicidad y flexibilidad.*

Esto coincide perfectamente con lo expresado al principio de este capítulo referente a los árboles de “causas y efectos”, “medios y fines” y el resto de instrucciones de los manuales.

Tercero: *El SNIP establece contenidos mínimos...de una estructura poco rígida (refiriéndose a ser inaplicable para alguna clase de proyectos).*

Cuarto: *Se refiere al modo de análisis económico (tasa de descuento de 14%) ...y*

Quinto: *Discute la utilidad de análisis económico financiero basada en aplicación del método costo-beneficio.*

Esta dificultad fue rápidamente suprimida con los análisis VAN y TIR que permiten tener mejor idea sobre la rentabilidad de proyectos.

Por otro lado, se transcribe literalmente las inquietudes del autor del presente trabajo y las respectivas opiniones de uno de los actores importantes en desarrollo del SNIP (sus respuestas están resaltadas):

1/. El SNIP indudablemente ha reducido el derroche de dinero público, pero solo hasta que los grupos descubrieron cómo engañar usándolo. ¿Qué dice Ud. sobre ello?

Sería importante conocer la evolución de la afirmación hecha en función de las inversiones ejecutadas entre los períodos 1990-1995, con 1996-2000, con 2001-2005, con 2006-2010, y con 2011-2015. Creería que el balance es positivo conforme avanza el tiempo. ¿Por qué no suponer que las autoridades y las organizaciones cívicas han comenzado a valorar los mejores proyectos?

2/. ¿Conoce Ud. casos de inversiones inútiles?; Yo, en muy poco tiempo dedicado a investigarlo, tengo tres ejemplos de Piura. Por otro lado, no se registran proyectos inviables.

Posiblemente no haya muchos PIP rechazados, pero sí hay muchos que no son viables pese al tiempo transcurrido desde su formulación, sea porque la OPI ya no lo evaluará o porque la UF ya no levantará las observaciones recibidas. Inversiones con poco impacto sí existen, pero se han priorizado en el Presupuesto Participativo.

3/. La nueva política de Gobierno, que deja fuera de SNIP las obras de agua y saneamiento, en mi opinión dará lugar a múltiples proyectos sin fuente de agua o sin calidad necesaria, tal como sucedió con proyectos de FONCODES y sobre todo en la región Cajamarca (de esto tengo alguna noción) y posiblemente en otras regiones. Lo más triste es que estos casos ocurren en zonas que más atención necesitan por el nivel de pobreza que las aqueja.

No hay una política para dejar los PIP de saneamiento fuera del SNIP, precisamente por los argumentos señalados en su pregunta.

4/. Las empresas constructoras lamentablemente son ejemplo de hambre de dinero del Estado como dinero fácil: cobran el adelanto y se esfuman; el poder judicial les ayuda a evadir responsabilidades.

No es una percepción tan exacta. La corrupción del empresariado debe conjugarse con la deshonestidad de los funcionarios públicos, pues los adelantos deben solicitarse conforme lo establecido en las Bases, sustentarse detalladamente y garantizarse con una Carta Fianza que puede ejecutarse, si sucede un abandono o incumplimiento de la empresa.

5/. Estamos enfrentados con grupos que no saben diseñar, pero lo hacen, constructoras que solo quieren aprovecharse del dinero público, funcionarios públicos de quinto y más niveles comprometidos ayudando a los primeros dos grupos.

Habiendo un presupuesto escaso, los incentivos son diferentes. Se trataría de acceder a financiamiento, para lo cual es requisito hacer buenos estudios. El margen para un comportamiento como el indicado es cada vez menor.

6/. En instituciones públicas independientes, los mejores profesionales están perseguidos como indeseables.

Eso sucede en toda entidad carente de cultura organizacional, donde priman los intereses personales o grupales por encima de los institucionales o sociales: los mejores profesionales son hostilizados, dejados de lado o considerados inconvenientes, pues su capacidad y resultados sobresalen y dejan en evidencia la carencia o mediocridad de los líderes o grupos hegemónicos. Sucede en las municipalidades, pero también en las universidades públicas y privadas, y en las áreas de ventas de las empresas, por ejemplo.

### 3/. Casos ilustrativos

Diseño de la solución óptima del canal Pabur y de la presa derivadora con captación

(Año 2008 – PIP N° 122206 - Mejoramiento del sistema de riego del canal Pabur, en el sub sector, distrito de La Matanza, Provincia de Morropón”).

El canal Pabur es un canal que capta, de manera artesanal, casi 7 m<sup>3</sup>/s del río Piura conduciéndolos hacia campos que están a distancia de (unos) algo más de 5 km de longitud de su trazo. Fue construido a mediados de siglo XX como canal no revestido. Se encuentra dentro de la jurisdicción de la Municipal Distrital de “La Matanza”, provincia y subregión Morropón, departamento de Piura.

Este es diseño, cuyo expediente técnico fue encargado al autor del presente por la Municipalidad Distrital de La Matanza el año 2006, cuando la municipalidad todavía no tenía unidades respectivas del SNIP. El expediente contempló la optimización de la pendiente del fondo del canal, gravemente afectado por la falta de adecuada planificación y cuidado durante largos años de explotación; así como la optimización de la sección hidráulica. La pendiente del fondo tenía tramos con pendiente adversa al flujo de agua. Por otro lado, la cantidad de agua que entraba a la captación era muy restringida si no se construía todos los años un represamiento provisional

de troncos, palos y sacos con arena. Entonces toda la realidad de represamiento para derivación, captación y conducción existente en esos tiempos fue sumamente rústica dependiendo de ello el riego de 12,000 ha aproximadamente.

Una vez entregado el expediente se procedió a la optimización de la caja del canal en un significativo tramo, desde captación hacia el “partidor”. Mientras tanto hubo cambio de alcalde y otros funcionarios.

A principios del año siguiente a la realización de estos trabajos, se presentó una creciente del río Piura. Sin convocar al proyectista, los asesores del nuevo alcalde construyeron un dique de tierra suelta en la captación, entrada de agua al canal para, según ellos, salvar que los altos niveles del río se propaguen adentro del canal. Las corrientes rompieron el dique y desplazaron la mayor parte de tierra canal adentro del último tramo, que fue optimizado según el expediente. Para colmo, en seguida decidieron revestir este tramo con alteraciones severas de niveles de fondo y de la caja del canal. El proyectista nunca fue consultado.

El año 2008, la Subregión Morropón, con apoyo del proyectista, había elaborado el PIP para el canal con presa y estructura de captación basándose primordialmente en el expediente técnico existente bajo el título “Mejoramiento del sistema de riego del canal Pabur, en el sub sector, distrito de La Matanza, Provincia de Morropón”. El monto de presupuesto referencial total fue de S/. 5´127,298.47

Este PIP es el N° 122206, aprobado en agosto del año 2010 que nunca se ejecutó.

Hoy, el canal, en parte revestido como sea (sin concluir optimización de su caja ni pendiente), todavía depende para el ingreso de agua de represamientos provisionales reconstruidos todos los años con un precio anual que se paga para esto y por mantenimiento del canal de alrededor de S/. 50,000 a más.

En conclusión:

¡Disponiendo de un estudio de factibilidad hecho dentro del SNIP con mayor detalle y en base a trabajos de investigación, (porque no decir,)

proyectado con creatividad, previendo gastar solo lo realmente necesario, el estudio no se usó para nada! ¡Fue desactivado como PIP tres años más tarde ya que no hubo iniciativa de elevar su nivel al de Prefactibilidad!

Se impone la siguiente interrogante:

¿Cómo es posible que se permita desactivar un proyecto (PIP) que tiene directa influencia sobre la productividad de las tierras y sobre la reducción del gasto público? ¿Será solo porque el expediente fue elaborado durante el mandato del alcalde anterior al actual de la Municipalidad de La Matanza?

Este y otros ejemplos ilustran de manera contundente que la falta de criterio o (más probable) el exceso de autoritarismo irracional hoy, todavía, sigue siendo una de las principales razones del estado de subdesarrollo.

El daño que sufre la sociedad se refleja en el retraso personal de los pobladores: ineficiencia en el uso del dinero público y consecuente desaceleración del desarrollo. Así que, con o sin SNIP, estamos nuevamente en el lugar de donde se ha partido. Cuando se introdujo SNIP, creyendo ser un sistema que iba a ofrecer mayores beneficios en el manejo del presupuesto del Estado peruano, no se podía prever con qué habilidad iba a ser violado a vista y paciencia de todas las instancias de control del Estado.

#### 4/. Invierte.pe

La creación del nuevo sistema Invierte.pe tiene el respaldo de un plan trianual de desarrollo. El nuevo sistema se promulga con el DL 1252 y su recientemente publicado reglamento (febrero de 2017).

La quinta cláusula del DL 1252 dice literalmente:

Los Proyectos de Inversión que inicien su formulación luego de la entrada en vigencia del presente Decreto Legislativo y que se prevean ejecutar en el año 2017, no aplican la fase de Programación Multianual, debiendo aplicar las demás fases del Ciclo de Inversión reguladas por la presente norma. Las inversiones de optimización, de ampliación marginal, de reposición y de rehabilitación que se prevean ejecutar en el año 2017 pasan directamente a la fase de Ejecución. Los Sectores, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales deben comunicar dichas inversiones a la Dirección General de Programación Multianual de Inversiones hasta antes del 30 de junio de 2017 y su ejecución deberá iniciarse antes del 30 de noviembre de 2017, tomando en cuenta las disposiciones de la Ley N° 28411, Ley General del Sistema Nacional de Presupuesto.

En el mes de abril se publica el DECRETO SUPREMO N° 027-2017-EF (Publicado en el Diario Oficial “El Peruano”, el 23 de febrero de 2017, modificado por el Decreto Supremo N° 104-2017-EF, publicado el 19 de abril de 2017) y en vigencia desde el siguiente día de su publicación.

¿Quiénes se someterán a la nueva legislación para la inversión pública?

“A partir de la entrada en vigencia del presente Reglamento, se sujetan a su aplicación inmediata: - Las entidades del Gobierno Nacional, - Los Gobiernos Regionales, - Los Gobiernos Locales incorporados al Sistema Nacional de Inversión Pública.”

¿Cuál es la esencial diferencia de Invierte.pe respecto al SNIP?

Según “La Republica” del 04/12/2016, “Nuevo sistema busca garantizar la **eficiencia y eficacia** del proceso de descentralización y, con ello, agilizar y mejorar la calidad de la **inversión pública**. Se busca reducir tiempos en inversiones en pistas, puentes y servicios.”

¿Cómo?

“- La formulación se realiza a través de una **ficha técnica**; es decir se requerirá de un solo documento para la aprobación del proyecto. El SNIP, en cambio, solicitaba estudios de prefactibilidad y factibilidad.”, además:

“- La Unidad formuladora elabora la ficha técnica, es decir, asume la responsabilidad de diseño y costos, y declara la viabilidad. ...y - El tiempo de aprobación de proyectos será menor que con el SNIP, ya que la programación se enmarca en tres sistemas que se realizarán en simultáneo: **planeamiento, inversiones y presupuesto.**”

Es verdad que, al final, los trabajos serán realizados por las mismas personas que lo hacían dentro del SNIP, con los hábitos adquiridos y las deficiencias ya mencionadas; entre las cuales la de falta de cultura de proyectos y adaptación de los procedimientos a los intereses de grupo formulador, no podrá ser combatida con eficiencia.

Capítulo III:

### **Obras de saneamiento ambiental**

#### **1/. Fuentes, captaciones y plantas de agua potable (PTAP)**

Es un campo de ingeniería muy amplio y cuando se trata de las fuentes, se discutirá principalmente las que más riesgos acarrear - en cuanto a

su confiabilidad (permanencia, caudal y calidad)-, para las estructuras de captación y para su aplicabilidad en determinado medio socioeconómico.

En este sentido, los pozos subterráneos, los manantiales y captaciones en riberas de los cursos de agua son los que más riesgos presentan. La mayoría de los problemas proviene de faltas de investigación de campo, confiabilidad de la fuente, de la insuficiencia de preparación profesional de los proyectistas y de la deficiente evaluación de los recursos necesarios para mantener operando un PTAP diseñado sin considerar recursos económicos necesarios y su correspondiente aceptación social.

La primera clase de los problemas teóricamente ya no debería presentarse en el Perú gracias a la existencia de la Autoridad Nacional de Agua ANA y sus respectivas sucursales locales ALA. A pesar de ello, todo futuro usuario de recursos hídricos está obligado a solicitar a la ANA la debida autorización. Los usuarios ilegales pueden traer abajo cualquier política basada en aprovechamiento racional del recurso. Según informes periodísticos (~)610 pozos de un total de 1834 del valle de Ica son ilegales (año 2009). El descenso de nivel freático es de una decena de centímetros a 1.50m al año dependiendo del sitio específico. El excesivo uso de agua subterránea siempre está acompañado por crecimiento de salinidad del recurso.

Tratándose de fuentes subterráneas destinadas para uso de consumo humano, a menudo se omite un serio análisis del recurso, sea de calidad o de cantidad; (Eso) lo cual resulta en un indeseable derroche de recursos financieros sin resultado esperado o, inclusive, como ya se comentó, con resultado nulo.

Durante mucho tiempo, la mayoría de las grandes ciudades peruanas situadas en la costa (Lima, Trujillo, Chiclayo, Piura...) dependía de pozos subterráneos para satisfacer sus necesidades de agua potable. Los pozos cercanos al cauce de algunos de los ríos de poca profundidad rendían con mayor seguridad que aquellos de gran profundidad y distancia de cursos - cuerpos de agua. Pero estos pozos poco profundos no brindaban la seguridad sanitaria estando fácilmente contaminables desde la superficie y per se, por deficiente filtración natural de aguas superficiales contaminadas.

Algo semejante ocurre cuando de manantiales se trata. Una búsqueda del manantial por referencias, sin asegurarse sobre su permanencia y capacidad mínima, ha arruinado muchos proyectos de pequeñas localidades.

Pero los verdaderos problemas se suscitan cuando un proyectista poco experimentado y poco especializado diseña la captación en la orilla de un curso de agua. Allí generalmente falta toda la información relevante: curva de duración de caudales y niveles de agua correspondientes, comportamiento morfológico del cauce en el tiempo, probabilidades de ocurrencia de mayores caudales, conocimiento sobre dónde colocar la estructura de la captación, cálculo de erosión general y local, etc.

La mayoría de captaciones son laterales, donde es muy importante tener en cuenta los siguientes problemas posibles:

- La más oportuna ubicación de la captación considerando características geomorfológicas del cauce del lugar.
- Futura variación del nivel de fondo del cauce y de agua frente a la captación por acumulación de sedimentos o por la erosión del fondo del cauce.
- Se capta demasiado sedimento con el agua: las captaciones laterales absorben significativamente mayor cantidad de sedimentos que las directas (las que se sitúan dentro del cauce).
- Necesidad periódica de limpieza del fondo del curso de agua frente a la captación lateral.
- Evaluación deficiente de la capacidad necesaria.

En los ejemplos particulares se citan deficiencias graves causadas por (falta de) no tomar en cuenta, en la etapa de estudios, alguna de estas consideraciones.

## 2/. Obras de saneamiento

En este subcapítulo se toca también el tema de gestión de residuos sólidos, a pesar que aparentemente no corresponde considerando el

propósito del libro. Sin embargo, es fácil encontrar la relación: los residuos sólidos, con el tiempo y, sobre todo, por el contacto con el agua atmosférica, resultan ser causantes de grave contaminación de las aguas subterráneas y superficiales así que no pueden ser omitidos en el presente recuento y análisis.

– Residuos líquidos, alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Las normas peruanas referentes a usuarios no domésticos regulan los procedimientos para la incorporación de residuos líquidos industriales y de establecimientos semejantes al sistema de alcantarillado público municipal. Los usuarios que evacúan aguas servidas que, por cantidad o concentración de materias orgánicas y/o materias residuales nocivas para los procesos de biodegradación, causarían dificultades en las plantas de tratamiento se obligan a:

- conducir un tratamiento previo de sus líquidos residuales eliminando los componentes no deseados en el alcantarillado municipal, o
- reducir la carga orgánica, sobre todo de aceites y grasas antes de la incorporación al sistema público.

En ambos casos están sujetos a una tarifa de pago de servicio de alcantarillado y tratamiento mayor, conforme a la composición y cantidades de efluente que remiten al alcantarillado público.

Los problemas que se registran en estas obras usualmente consisten en diseños defectuosos (proyectistas multiuso y/o sin criterio) y más que ello por falta de verdadera supervisión. Formalmente se cumplen todas las instancias de control, pero sin cumplimiento cabal de normas.

Son muy frecuentes los contratistas que, al obtener la buena pro, solo tratan de cobrar lo más que pueden a cambio de casi nada, armados de envidiable experiencia adquirida en casos judiciales ganados a las instituciones públicas que les otorgaron la buena pro en casos anteriores. Es un complejo sistema de robo de dinero público sin castigos verdaderos, por

tener involucradas a las autoridades que deberían reclamar y administrar justicia.

- Residuos sólidos, rellenos sanitarios, plantas de procesamiento de residuos sólidos

- Agua y saneamiento como promesa electoral del nuevo gobierno (2016 – Pedro Pablo Kuchinsky): comprende, aparte de agua potable y alcantarillado de aguas servidas, lo necesario para asegurar (para todo) un medio ambiente adecuado al cual, según la Constitución del país, cada poblador tiene derecho. Esto implica mínimamente adicionar el tratamiento de aguas servidas y la gestión adecuada de residuos sólidos. Lo último, como ya se dijo, no se puede separar de obras correspondientes a función hidráulica por las graves consecuencias que causa sobre la calidad de fuentes de agua potable si no se toma en cuenta.

Las zonas de nacimiento de cursos de agua están pobladas por comunidades campesinas en asentamientos humanos a riberas de estos cursos y se caracterizan, en muchos casos, por la ausencia total de gestión de residuos sólidos. La situación se agrava conociendo que la mayoría de estos centros urbanos no tienen el suministro de energía eléctrica o la tienen a partir de grupos electrógenos por pocas horas de la noche; lo cual hace que la gente use grandes cantidades de linternas. Las pilas descargadas se desechan en el ambiente generando contaminación. Se sabe que cada una de estas pilas, por descomposición, puede contaminar gravemente hasta 600 m<sup>3</sup> de agua en el medio ambiente.

Por ahora, felizmente, se ha entendido la importancia de la preservación de bosques y páramos porque influyen sobre el régimen de las precipitaciones atmosféricas. Sin embargo, estas medidas de protección ya implementadas quedan sin efecto completo por la contaminación producida al desechar los residuos sólidos en las quebradas y riachuelos de partes altas.

- Recuperación de ríos y de los cuerpos de agua en reposo

Se trata de una disciplina que puede ser orientada hacia el restablecimiento de la situación ambiental de un curso de agua inafectado por

actividades humanas (remoción de antiguas menores captaciones y presas) o de recuperación sanitaria del ambiente acuático como se desea proceder en el caso del lago Titicaca. Cual sea el caso, en el país se ha hecho muy poco o nada en este sentido. Todos los ríos de la costa están contaminados por descargas de aguas servidas domésticas, industriales y actividades mineras, legales o no. La mayor parte de los cursos y cuerpos de agua de la sierra y selva peruana están en la misma o peor situación, predominantemente por proyectos petroleros y lavaderos ilegales de oro.

### 3/. Sistemas urbanos y rurales de evacuación de aguas pluviales

Si existe un rubro de la infraestructura urbana que requiere plena atención de las autoridades es el de agua y saneamiento, junto con la evacuación de aguas pluviales, entendida como parte de la política más amplia de saneamiento ambiental.

En este sentido, lo ocurrido en el periodo de febrero a abril del año 2017 demostró a toda la nación la grave falta de obras de evacuación de aguas pluviales y de adecuada defensa contra inundaciones.

### 4/. Casos ilustrativos

**Agua subterránea(s):** El mejor ejemplo a nivel nacional, tratándose de sobreexplotación de acuíferos, es el valle del río Ica donde según ANA ((8) “Plan de Gestión de acuíferos del valle del Ica”):

“El volumen explotable del acuífero de Ica se determinó mediante modelamiento numérico en 189 hm<sup>3</sup> /año, equivalente a un caudal constante de 6 m<sup>3</sup> /s. Considerando que el volumen de explotación es de 335 hm<sup>3</sup> /año, la sobre explotación llega a 146 hm<sup>3</sup> /año. La conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero del valle de Ica varía de 0.5 a 1.0 mmhos/cm a +25°C, valores representativos de salinidad moderada a media, en los distritos de San José de Los Molinos, San Juan Bautista, Subtanjalla, Parcona, Los Aquijes y parte de La Tinguiña. Los valores de 1.5 a 2 mmhos/cm a +25°C, que corresponden a aguas de mediana salinidad, se encuentran en los distritos de: Ica, Tate, Pachacutec y partes de Santiago y Pueblo Nuevo. Plan de Gestión de los Acuíferos del valle de Ica y Pampas de Villacurí y Lanchas 4 Finalmente se observan valores de 2 a 5 mmhos/cm a +25°C, valores de mediana a muy alta salinidad en el distrito Santiago y parte del distrito Ocucaje. En general se aprecia que el incremento de la concentración salina del agua subterránea se produce de aguas arriba hacia aguas abajo siguiendo aproximadamente el sentido preferencial del flujo subterráneo, desde 0.5 mmhos/cm a +25°C a la entrada del valle en el distrito de San José de los Molinos, hasta 2 mmhos/cm a +25°C en parte del distrito de Ocucaje, en donde el flujo subterráneo se represa por el estrechamiento del acuífero”

Según un informe periodístico (haciendo referencia a la Autoridad Nacional de Agua - un censo publicado en 2009), unos 610 pozos de valle de Ica fue ilegal.

**INVENTARIO DE POZOS Y VOLUMENES BRUTOS DE EXPLOTACION  
AL AÑO 2009**

AÑO	N° DE POZOS (*)	VOLUMEN DE EXPLOTACION (**)
	VALLE DE ICA	(MMC)
1967	605	286.00
1974	314	132.00
1985	832	181.00
1995	430	192.00
2000	568	333.00
2002	1451	225.00
2007	1750	383.50
2009	1834	335.00

(\*) Pozos en estado Utilizado, utilizable y no utilizable.  
(\*\*) Pozos en estado Utilizado.

Tabla publicada en la charla de Ing. Julio Chávez Cárdenas “Problemática del agua en la cuenca del río Ica”, 2012 (9)

El acuífero sobre el cual se encuentra la ciudad de Piura ha sido explotado mediante pozos profundos para el abastecimiento de agua potable de la localidad. Es importante especificar que, desde la creación de la empresa municipal “Seda Piura”, el suministro de agua a la ciudadanía utilizaba esta fuente como la principal. Es evidente que, durante decenios de explotación, que no fue sustentada por estudios para definir el potencial de aprovechamiento sostenible, ha ocurrido permanente reducción de niveles estáticos y dinámicos del acuífero año tras año. El problema es que el agua de buena calidad (sin exceso de sales) puede encontrarse en profundidades superiores a 120m y hoy este límite se ha extendido a más. Simultáneamente, la salinidad del agua de antiguos pozos ha ido aumentando también, muy probablemente, hay que decirlo, por contaminación debido a inexpertas excavaciones de nuevos pozos, falta de mantenimiento y protección de los antiguos, así como por insuficiente recarga natural frente al aumento de cantidades extraídas.

Hasta el año 2003 no se había(n) hecho estudios que pudieran permitir establecer límites razonables de explotación (solo hubo un estudio de Ministerio de Agricultura del 1980\*). Con el tiempo, el número de pozos activos ha ido en aumento como consecuencia de la expansión urbana. Según apreciación de Saniplan, AMSA y GKW Consult de 2003, el acuífero terciario del Medio y Bajo Piura tiene disponibilidad de 56 Hm<sup>3</sup> ((11) “Plan de Gestión de Recursos Hídricos Cuenca Chira Piura” – ANA, 2013).

Según el “Inventario de Fuentes de Agua Subterránea en el valle de Medio y Bajo Piura” INRENA, 2004 (12):

\*“Zona Inferior (III), conformada por material arenoso con escasos y finos horizontes de arcilla. Esta zona es importante ya que constituye el acuífero profundo de agua dulce, el cual se encuentra entre los 82 y 86 m. de profundidad en Piura. También:

CUADRO N° 5.3  
DISTRIBUCIÓN DE LOS POZOS SEGÚN SU ESTADO  
VALLE MEDIO Y BAJO PIURA - 2004

Distrito	Utilizado		Utilizable		No Utilizable		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Piura	22	84.62	01	3.85	03	11.53	26	11.87
Castilla	17	56.66	9	30.00	04	13.34	30	13.69

Entre los pozos “no utilizables” están aquellos muy antiguos (deficiente perforación, desviada y/o donde el forro falló por antigüedad) y con agua salobre. La profundidad de los pozos va de 80 a 200m, el nivel estático se encuentra a una profundidad desde 82 m a 86m (año 1980) con un descenso entre este nivel y el nivel dinámico de 5 a 20m, dependiendo del caudal.

El caudal extraído del distrito Piura varió desde el año 1980 al 2004 de 0.44 m<sup>3</sup>/s a 0.702 m<sup>3</sup>/s representando estos caudales y volúmenes un 51.26 % del total del acuífero subterráneo Chira - Piura. Aparentemente no ocurrió todavía la sobreexplotación – se aprovecha un 80 % de la capacidad evaluada, pero definitivamente la calidad físico-química del agua ha ido agravándose. Esto también puede significar que la cantidad sostenible (tomando en cuenta la calidad físico-química del agua) debería ser menor a la extraída actualmente. En resumen, muy probablemente, la evaluación de la capacidad total en 56 Hm<sup>3</sup> ha sido exagerada y depende del régimen de lluvias, de la regularidad de la posibilidad de recarga, ya que explotación de los 43 Hm<sup>3</sup> (2004) y mas hoy, implican un constante descenso del nivel estático, al menos en últimos 20 años.

Se ha registrado (año 2004) descensos de niveles estáticos de 0.08m a 0.25m anuales.

Es curioso saber que, en periodo reciente (después del año 2004), en los distritos de Piura y Castilla se ha(n) perforado y equipado tres pozos

que nunca entraron en funcionamiento, debido a la pésima calidad del agua encontrada.

Las razones van desde la ausencia de estudios geofísicos serios en la etapa de diseño, hasta terminar en la perforación a un nivel decenas de metros más alto que lo previsto en el estudio. Allí fallaron todas las fases de actividades, pero la que lleva mayor responsabilidad es la de supervisión del estudio y de construcción. Nuevamente nos enfrentamos con total ausencia de responsabilidad ético-profesional. Uno de estos pozos se encuentra en la sede de la EPS Grau (empresa de prestación de servicios) en la zona llamada Buenos Aires, de Piura.

Desde el año 2005 está operando la PTAP Curumuy, que produce nominalmente 660 l/s; este caudal suele variar por razones de índole de infraestructura hidráulica y, últimamente (hasta enero del año 2017), por restricciones de suministro causadas por la sequía, así como por la falta de pago de los usuarios en determinadas zonas.

La época lluviosa del año 2017 ha sido muy generosa y se espera recuperación de niveles de acuífero durante fin del año e inicio del siguiente.

## **Manantiales:**

### Fuente de agua potable para la ciudad de Huancabamba

El año 2000 se estaba construyendo el sistema de captación y conducción por gravedad de agua potable para la ciudad de Huancabamba. El diseño, que contemplaba selección de la fuente y diseño de la conducción por gravedad, había sido elaborado por un bachiller de ingeniería a través de un estudio de consultoría de Piura. Dada la falta de todo (diseñador especializado y/o preparado, supervisión competente de diseño, supervisión y política de ejecución racionales...) en el proceso (situación usual) ocurrieron tres graves errores:

- La capacidad del manantial seleccionado se investigó solamente durante el periodo lluvioso; como consecuencia, en el periodo de estiaje la cantidad de agua no podía satisfacer la demanda.

- El diseño hidráulico contenía errores de principiante: las válvulas de control de los tramos entre cada dos cámaras rompe-presión estaban diseñadas y se colocaron al inicio de cada tramo (extremo superior) en vez de colocarlo en el final (extremo inferior) para poder controlar el flujo).
- ¡El alcalde del momento presionó al supervisor, durante la construcción, para que se altere el trazo del conducto cerrado siguiendo al trazo que correspondería a un canal abierto (no del conducto cerrado) y todo esto sin válvulas de expulsión de aire!

Puede parecer muy fácil darse cuenta de estos errores, pero fueron detectados recién al ejecutar la prueba de funcionamiento, de modo que el conducto aparentaba no tener la capacidad necesaria. En esos momentos, el contratista solicitó al autor del presente trabajo, su opinión especializada. La revisión del diseño y pruebas de campo permitieron diagnosticar las faltas. Sin embargo, estas fallas nunca se hubieran presentado si no fuera por la costumbre entre contratistas de considerar que el gasto en diseño (consultoría) no tiene sentido ya que cualquiera puede ofrecer planos. El papel soporta todo, pero el agua no sigue pistas erróneas.

### **Cursos de agua**

#### **Captación del sistema de agua potable para una localidad en el departamento de San Martín**

Los cursos montañosos de agua, entre partes altas y medianas de cuencas, transportan grandes cantidades de material gravoso, como se observa en la imagen (figura N°2). Los sólidos atacan por erosión simple o abrasiva la margen cóncava de la curva, depositando el material en la parte convexa; en este caso, justo en la boca de la captación presentada. La acumulación de (la) grava en los orificios de admisión de agua de la captación, inhabilita la misma creando la necesidad de permanente evacuación de depósitos con maquinaria.

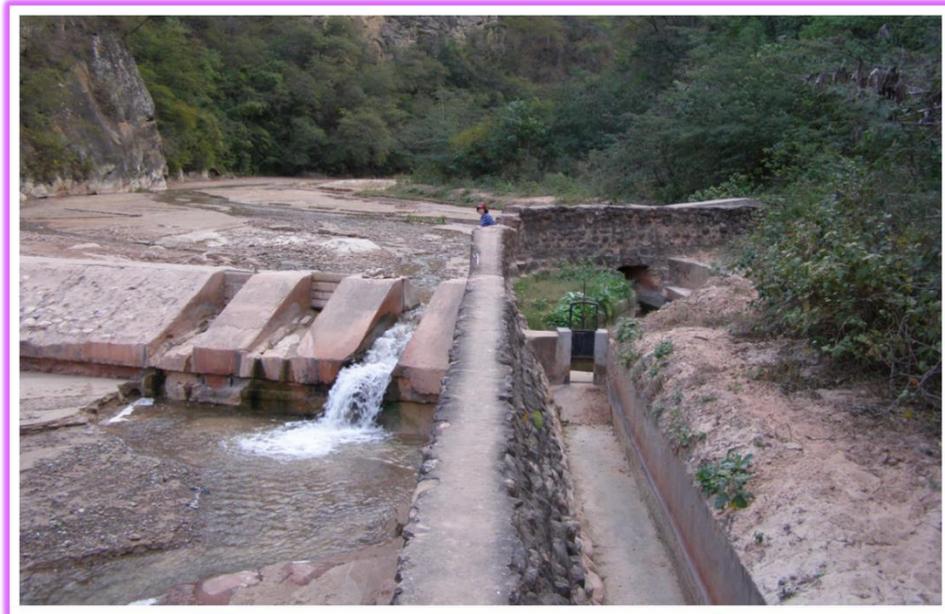


Figura N° 02: Se observa la ubicación de la captación en la margen izquierda del río en una curva y en su lado convexo (Imagen de la figura 2 proporcionada por un tesista de Universidad de San Martín de Tarapoto)

Durante el estiaje se tiene que abrir el canal a través de los depósitos antes de ingeniar una rectificación del flujo con la infraestructura correctiva.

La persona que envió esta foto solicitaba, al autor del presente, consejo sobre cómo solucionar el problema.

### Captación de agua potable para la PTAP Arenal

PTAP Arenal abastece el “Eje Paita -Talara” – conducto de transporte de agua bombeada hacia ciudades Paita y Talara con anexos (menores centros urbanos aledaños).

La PTAP “El Arenal” fue construida el año 1979, estando ya en funcionamiento, aguas arriba, el recién inaugurado reservorio Poechos, que había modificado el régimen de transporte de sedimentos presentándose en el agua del río, aguas abajo de la presa, una menor cantidad de sedimento transportado.

La capacidad de transporte del agua que se soltaba del reservorio creció respecto al estado natural de flujo en el cauce por dos razones:

- La mayor parte del sedimento se quedaba atrapado en el reservorio Poechos por una alteración de las condiciones naturales de flujo (salvo durante grandes avenidas y reservorio lleno).
- El agua venía con un mayor nivel energético ya que provenía de la cota de agua almacenada (mucho mayor que los niveles naturales); exceso que la disipación de energía no eliminaba en su totalidad.

Esto ha ocasionado que el agua del río erosione y recoja el sedimento en el camino hacia la desembocadura dejando, cada año, el cauce del río algo más profundo.

Los diseñadores de la PTAP, de su captación, representantes de una de las empresas internacionales más renombradas del rubro, no tomaron en cuenta la futura erosión del cauce (cosa elemental a examinar en todo diseño de captaciones), designando los niveles de captación correspondiente a la situación encontrada en el momento.

Como consecuencia, en cierto momento, la rejilla de entrada de agua a la captación quede fuera de alcance del agua y finalmente varios metros por encima de niveles de agua durante largos meses de estiaje.

Además, se ha producido, durante una de las avenidas, una ligera socavación de la caseta de captación, sufriendo esta un movimiento que la hizo inclinarse.



Figura N°  
03: Vista  
en planta  
de la ca-  
seta de  
captación  
de la  
PTAP El  
Arenal



Figura N° 04: Vista de la caseta desde la orilla izquierda hacia aguas arriba

Después de experimentar problemas, la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) “Grau”, a cargo de PTAP Arenal instaló un sistema improvisado de bombeo:



El tubo de mayor diámetro – tubo de succión, absorbe el agua remitiendo el tubo de impulsión (menor diámetro) el caudal captado a la cámara de captación aras de las rejillas.

Uno de los problemas permanentes era asegurar que el agua llegué hasta el punto de bombeo provisional.

Figura N° 05: Instalación provisional de bombeo para la caseta de captación de la PTAP El Arenal – se observa la rejilla de admisión de agua varios metros por encima del nivel de agua en el cauce



Figura N°06:

La infraestructura provisional vista desde el techo de la caseta de bombeo. Se observa que existe un exceso de caudal que se regresa al río

Después de poner en marcha este sistema auxiliar de bombeo se ha tenido que limitar su uso ya que el agua del río contiene exceso de sales durante periodos de estiaje. Esto se debe a la gran concentración de sales en las

“aguas de retorno” de los sistemas de riego agrícola del valle. La solución, nuevamente provisional, para la época de estiaje fue captar el agua de un canal de regadío que se abastecía a partir de un sifón invertido del Canal Norte, que capta el agua en la Presa Derivadora de Sullana donde la salinidad de agua es todavía tolerable.

Dadas las circunstancias, contando con una donación, la EPS Grau ha obtenido un diseño de la nueva caseta de captación y bombeo hacia la planta de tratamiento. Las primeras versiones de este diseño inexplicablemente tomaban el agua en el mismo canal de regadío (en vez de prever una propia toma del extremo de sifón invertido de la margen izquierda) y, lo que era aún más raro, un conducto de gravedad llevaba esta agua a un nivel varios metros más abajo hacia una nueva cámara de la caseta de captación para bombearlo recién a la planta. El bombeo innecesario no molestaba a los diseñadores que, más bien protestaban por observarles la incongruencia de hacer caer agua a un nivel más bajo de la captación y bombearla con un exceso de altura de bombeo igual a la altura de descenso innecesario.

### Gestión y tratamiento de residuos líquidos

Según “DIAGNÓSTICO ...” ((28) cita literal)

#### RESUMEN DE LAS OBSERVACIONES CLAVES

Los principales desafíos encontrados en las PTAR son:

**RESPECTO AL MARCO LEGAL:** La operación de más del 90% de las PTAR sin autorización de vertimiento y/o reutilización. Las exigencias del marco legal respecto a la calidad requerida de los efluentes, especialmente de los ECA-Agua y, a la vez, la dificultad en la evaluación de su cumplimiento, debido a la falta de un estudio de calidad de las fuentes hídricas a nivel nacional. El incumplimiento de la Ley de Residuos Sólidos por falta de lugares autorizados para la disposición final de los lodos y residuos sólidos de las PTAR. La falta de normativa para el manejo de lodos para la reutilización agrícola.

RESPECTO A LA INFRAESTRUCTURA DE LAS PTAR San José: efluente de la PTAR alimentando canales de regadío. Las PTAR con tecnología insuficiente, lo que se evidencia en: falta de tratamiento preliminar, especialmente de rejillas y desarenadores. Falta de medidores de caudal del afluente y efluente. Falta de bypass en las unidades en casos de fallas o cuando se efectúe su mantenimiento. La operación de PTAR con fallas en la construcción. Las PTAR con tecnología inadecuada, que se manifiesta en: falta de capacidad financiera de las EPS para cubrir los elevados costos de operación y mantenimiento de las PTAR con tecnologías avanzadas. Falta de edificios de operación, de talleres, almacenes, laboratorios, cercos perimétricos y servicios higiénicos. Falta del saneamiento legal y seguridad pública en las PTAR.

RESPECTO A LA OPERACIÓN DE LAS PTAR: Ausencia del manejo de lodos en 50% de las PTAR, los que se deben remover frecuentemente e idealmente, reutilizar en el sector agrícola. Sobrecarga orgánica o hidráulica en el 50% de las PTAR. Carencia de la documentación necesaria que permita conocer los parámetros de diseño y las necesidades de operación y mantenimiento de las PTAR. La mitad de PTAR no cuenta(n) con manuales de operación y mantenimiento. Falta de personal bien capacitado, de equipamiento y de recursos financieros necesarios para la adecuada operación y mantenimiento de las PTAR. La mayoría de PTAR no cuenta con un programa completo de monitoreo del afluente, efluente y parámetros de operación. Falta de asistencia técnica interna o externa para que el personal operativo opere adecuadamente la PTAR. Insuficiente frecuencia de actividades de operación y mantenimiento de las PTAR .

Tratándose de infraestructura, en Piura se han dado deficiencias como uso de materiales inadecuados para los terraplenes que forman lagunas, con insuficiente grado de compactación: la deficiencia fue tan grave que

caminando sobre la corona de los diques de la laguna de oxidación ubicada en la parte norte de los terrenos de la “Inmobiliaria Miraflores Perú” se producían hundimientos de pies en el material.

Una de las deficiencias más frecuentes en el funcionamiento se debe a la concentrada entrega de afluente que favorece corrientes, no produciéndose el flujo tipo pistón. Otra, posiblemente la más frecuente, ya mencionada, es la sobrecarga orgánica del afluente.

### Recojo y tratamiento de residuos sólidos

Según ((29)- la cita es literal del informe de OEFA 2014) Actualmente, no existe una adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos municipales en el Perú, toda vez que no se cumple(n) con las exigencias legales mínimas, en la mayoría de los municipios, para evitar una afectación al ambiente y la salud de las personas.

Es deber de los tres niveles del gobierno establecer medidas adecuadas para solucionar esta contingencia, siendo los municipios los principales actores en este proceso.

Las municipalidades provinciales muestran, en general, un mayor cumplimiento respecto de las exigencias formales, como por ejemplo, contar con el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos, presentar el reporte en el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (Sigersol), contar con un Programa de Segregación en la Fuente o contar con instrumentos formales para brindar el servicio de limpieza pública.

Sin embargo, el cumplimiento formal de estas exigencias no significa que las municipalidades brinden el servicio de limpieza pública o que este sea prestado de forma idónea. Adicionalmente, es importante resaltar que los residuos sólidos son dispuestos finalmente en lugares de disposición ilegal denominados “botaderos”, lo que impacta negativamente y genera focos infecciosos para la salud de las personas y el ambiente. En efecto, en el año 2014, el OEFA ha identificado los 20 lugares más críticos de

disposición final de la basura, que reciben alrededor de 3 200 toneladas de residuos diariamente, y que se encuentran en las principales ciudades del país.

En nuestro país, existen solamente diez rellenos sanitarios para una población que supera los treinta millones de habitantes, lo que demuestra que existen graves problemas estructurales. Así, por ejemplo, los plazos para obtener la aprobación de los instrumentos de gestión ambiental para las infraestructuras de residuos sólidos y los plazos para obtener las autorizaciones de la entidad competente son inadecuados.

Existe un mercado para la venta de residuos sólidos que es aprovechado por los segregadores informales. En las supervisiones se verificó que existe una gran dificultad para formalizar a todos los agentes involucrados en el manejo de los residuos sólidos, quienes prefieren realizar la segregación informal en los botaderos, en lugar de trabajar con los gobiernos locales que sujetan dicha actividad a reglas de cumplimiento, tales como horarios establecidos y uso de equipos de protección personal.

### Recuperación de ríos y cuerpos de agua

Naturalmente, ocupándose de tratamiento de aguas servidas y de residuos sólidos, con todo que implica esto antes y después, es el presupuesto base para un ambiente acuático saludable. Si el daño ya está presente, entonces según ((30), Zambrano, 2003):

“Con tantas variables en juego y tantas dinámicas diferentes en cada lago o río no existe una receta básica a seguir. Pero en el momento de generar un programa de restauración son indispensables los siguientes factores que a continuación se mencionan: a) el régimen hídrico, b) la concentración de químicos en el agua, c) la estructura de la red trófica, y d) la erosión de los sedimentos y la colonización de las plantas.”

El Perú está en una fase muy rudimentaria para ocuparse de corregir los daños ambientales, especialmente en el caso de las aguas. Por ahora son intentos personales que se convierten en motivaciones para más actores siendo halagadas en redes sociales y medios de información pública.

Por ello, en vez de hablar de proyectos se aclarará el párrafo citado líneas arriba.

El régimen hídrico simplemente significa que en los cursos y cuerpos de agua naturales debe haber agua. Lamentablemente esta es la primera clase del daño ambiental que se comete – agotando y/o drenando el recurso para ocupar tierras; práctica que se hizo muy frecuente después de Segunda Guerra Mundial en muchas partes del mundo.

El agua debe oxigenarse debidamente, reduciendo, a la vez, la concentración de químicos en el agua, para impedir crecimiento de fitoplancton.

La estructura de la red trófica busca (en casos moderados) controlar el equilibrio de la parte básica de la cadena trófica acuática: fito y zoo plancton, moluscos, especies depredadoras de estos; para, de esta manera, garantizar la salud.

Finalmente, la prevención de erosión en las cuencas es crucial para reducir la cantidad de nutrientes en el agua, donde (de ser posible) las plantas filamentosas acuáticas permiten evitar que el sedimento entre en suspensión. Por otro lado, la presencia de peces que comen semillas y brotes de plantas se debe limitar y/o eliminar.

La recuperación ambiental del lago Titicaca es uno de los pocos proyectos de esta clase que está en curso, al menos en forma de acuerdos y documentación técnica.

Tal como es fácil de imaginarse, para los entendidos en el tema, las principales actividades se orientan a impedir que las aguas residuales y residuos sólidos sigan llegando a los afluentes y al mismo lago.

Gracias a su difusión por las redes sociales es conocido el alcance logro de un esfuerzo personal del Ing. Marino Morikawa: recuperó la laguna Chancay recogiendo residuos y plantas que mantenían el agua en un estado sin

oxígeno disuelto, impidiendo procesos de auto limpieza basados en presencia de bacterias aeróbicas y suficiente cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Este último logro fue la condición necesaria para que se reestablezcan tres especies de peces de nuevo.

Naturalmente, lo que es deficiente en nuestro país es la preocupación de la población por preservar el medio ambiente saludable. La única manera de lograrlo es a través de la difusión de los conocimientos respectivos, así como introduciendo ejemplares medidas de control y legislación adecuada con penalidades que se desarrollarían en sentido más riguroso con el tiempo.

### Canal vía de la ciudad de Sullana

Construido después de las torrenciales lluvias del año 1983, hoy es un foco contaminante. Una solución de esta naturaleza puede ser aceptada solo como temporal. Atravesando el corazón de la ciudad debería haberse convertido en un colector subterráneo de grandes dimensiones.

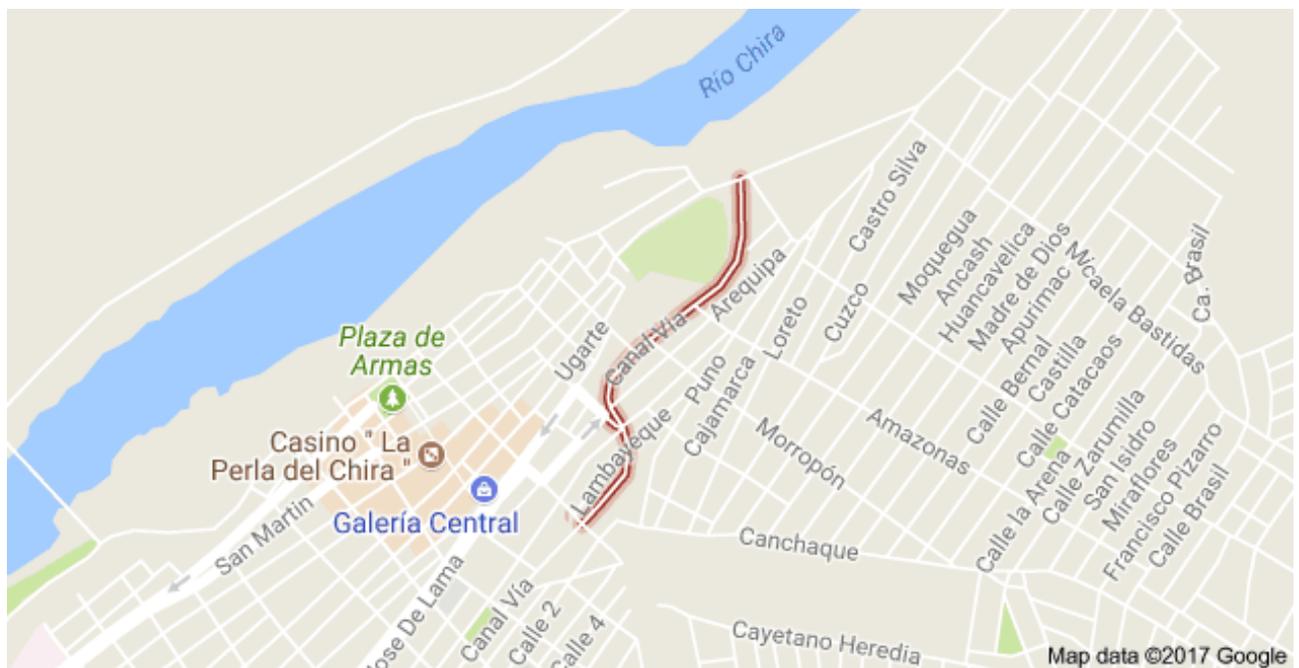


Figura N° 07: Mapa de la ciudad con el trazo del Canal – Via



Figura N° 08: Canal durante lluvias, sin protección alguna en sus márgenes (fuente: el regional piura.com.pe)



Figura N° 09: El canal es receptor de aguas servidas y de basura mientras no llueve, que es su periodo de mayor duración y así se convierte en un foco infeccioso. (fuente: etempo.pe)

Es importante saber que su descarga dispone, normalmente, de apreciable altura respecto al nivel del agua en el río Chira.

## Capítulo IV:

### **Sistemas de riego y drenaje agrícola**

#### 1/. Presas de acumulación y de derivación con obras adjuntas

Las actitudes del ser humano frente al recurso indispensable para la manutención de la vida en el planeta está en íntima relación con grandes obras hidráulicas. No se trata solamente de seres humanos sino del medio ambiente del cual somos parte.

*“It is with our passions as it is with fire and water, they are good servants, but bad masters”* = “Nuestras pasiones son como el fuego y el agua, son buenos sirvientes, pero malos amos”.

Hablando de las presas de acumulación, estas resuelven dos tareas contradictorias: permiten, en primer lugar, racionalizar el recurso agua, y también, hasta cierta medida, sirven como defensa contra la furia de la naturaleza.

Las presas derivadoras solo permiten, mediante la elevación del nivel energético del agua, ampliar el alcance de la distribución del recurso.

Todas las presas tienen una vida útil cuya magnitud depende de varios factores, entre los cuales el material de construcción, capacidad de sus órganos anexos (sobre todo evacuadores de excedencias) y mantenimiento con modernización representan algunos de los principales.

El periodo de la vida útil se mide entre 50 a 100 años en la mayoría de los casos, pero no existe un periodo que pueda asignarse a priori. Las nuevas políticas ambientales basadas en hechos científicamente sustentados implican, en algunos casos, remoción, sobre todo, de pequeñas presas.

La mayoría de las presas existentes hoy, fueron construidas en el periodo de postsegunda guerra mundial. El año 1942 se produjeron, en Brasil, colapsos de varias presas de tierra; hecho que ha dado lugar a la formulación de los conceptos hidrológicos de “Lluvia máxima probable” (PMP) y “Avenida Máxima Probable” (PMF).

El periodo de retorno de avenidas de diseño de órganos evacuadores de presas, internacionalmente varían a menudo dependiendo de la economía del país: como ejemplo se menciona India donde, para las presas de tierra el periodo de retorno se adoptaba de mil años, mientras que, en Gran Bretaña acostumbran dimensionar los órganos evacuadores de excedencias a un periodo correspondiente a Avenida Máxima Probable (MPF).

La avenida Máxima Probable (PMF) para condiciones en G.B. se puede definir como múltiplo de caudal de diferentes periodos de retorno: el  $PMF=5Q_{150}$ , es igual a tres veces caudal de  $T=1,000$  años o dos veces del  $Q_{10,000}$ .

En otros países, el periodo de retorno del caudal de diseño para presas de tierra es de 10,000 años y para presas de concreto es 1,000 años.

En G.B. estos valores se asignan como mínimos, siendo la recomendación general la de PMF ((26), Novak).

Las estadísticas señalan que la primera causa de colapso de obras civiles en general es un diseño deficiente ((3), L. Caballero): 40% a 60%, dato que coincide bastante bien con las causas de colapso de presas internacionalmente. Como la causa más frecuente se perfila el desbordamiento; que se debe, en la mayoría de los casos, a la insuficiente capacidad de sus órganos evacuadores.

Según Novak (26) el desbordamiento por insuficiencia de capacidad de órganos evacuadores o del borde libre, es responsable de hasta 35% de colapsos, mientras que la segunda principal causa de colapso, por erosión interna, es responsable de hasta el 35% de casos de colapso adicionales. La reducción del borde libre puede ser causada por no tomar en cuenta el futuro asentamiento de la presa. Otras causas de la falla de estabilidad en algún escenario del diseño, son filtraciones a través del cuerpo de terraplén o siguiendo contacto de tierra con concreto (de alguna obra anexa), protección del talud aguas arriba y obras anexas por otros motivos

Cuando de presas de concreto se trata, las principales causas de falla serían volteo (a causa de excesivos esfuerzos de tracción en la base) y filtraciones internas con reducido o inexistente control de subpresión (presión de agua sobre contacto de concreto de la base).

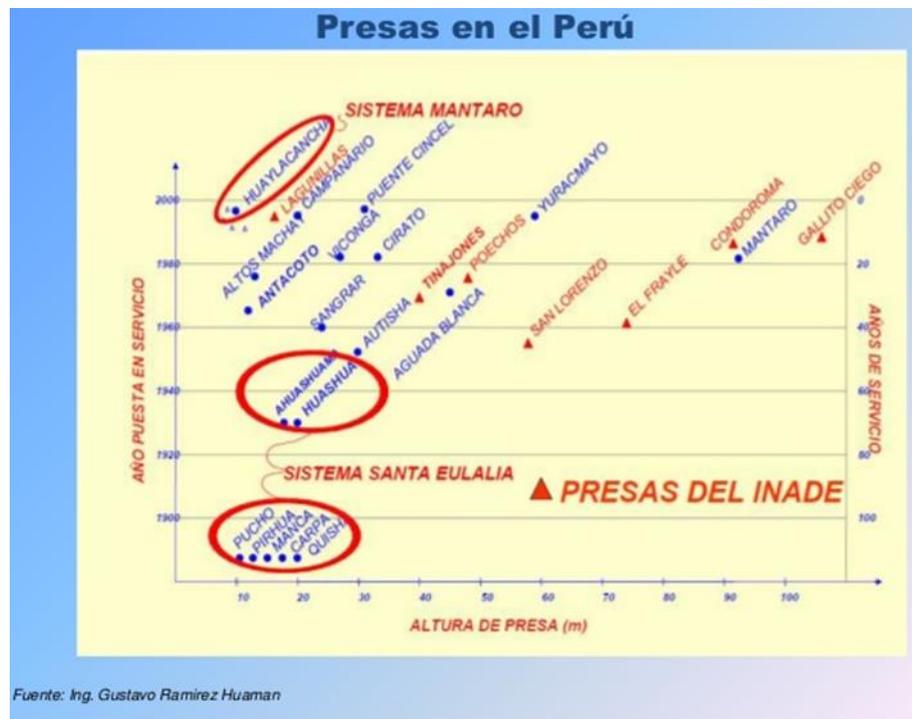


Figura N° 10: Resumen de presas en el país según Gustavo Ramírez Huamán

Es importante saber que, hasta los años 1950 – 55, la práctica de drenes de reducción de subpresión no era difundida internacionalmente.

Por estas razones hubo, hablando de prácticas internacionales, presas de concreto y de mampostería que se sometieron a procesos de mejoramiento de estabilidad reforzándolas estructuralmente o proveyendo drenes de alivio de la subpresión sobre la base.

En el caso de las presas peruanas, se han producido algunas deficiencias y colapsos parciales. No se ha encontrado material difundido, salvo sobre las presas derivadoras “Los Ejidos” y “Presa Derivadora de Sullana”, ocurridas en años 1983 y 1998.

## 2/. Captaciones, canales, desarenadores, vertederos, sifones invertidos.

Entre canales diferenciamos aquellos de primer orden, usualmente llamados “canal madre” entre hispanohablantes, canales secundarios y terciarios (de parcela).

Dependiendo del propósito de canal diferenciamos los de aducción; conducen agua del lugar de la fuente hacia donde se requiere tenerla y de drenaje; evacuan el agua en exceso del lugar donde se produce el exceso hacia un cuerpo de destino final del caudal conducido. También se tienen canales navegables que, hasta hoy no tienen representación en el país.

Finalmente, un canal puede ser sin o con revestimiento que le da garantías contra la erosión de su sección transversal y longitudinal, así como reducida resistencia al flujo, en mayoría de los casos.

Es hasta curioso que no existe mucho criterio cuando se designa el diseñador de un canal: La tarea, por coyuntura, se otorga a “un ingeniero”; esto puede significar desde ingeniero de especialidad minera, industrial, agrónomo, hasta agrícola, debiendo resolver este problema un ingeniero civil especializado en obras hidráulicas. Las pendientes longitudinales que se deben aplicar no son independientes de la función y/o clase de canal; los aductores no deben tener la pendiente mayor de 5/10,000 empezando desde 8/100,000 para canales muy grandes (con caudal de diseño de cerca de un centenar de  $m^3/s$  a más).

La razón de ello es que deben conducir el agua a mayor distancia posible con mínimo desnivel entre los puntos de partida y llegada.

Al contrario, los canales de drenaje deben, en un principio, evacuar el agua lo más rápido posible para prevenir permanencia de exceso de agua en el suelo (drenaje agrícola), impedir inundación y desaguar el lugar de trabajo en construcción. Se les asignan pendientes longitudinales desde 3/1,000 hasta 9/1,000.

Los desarenadores y vertederos cumplen función de reducir cantidad de sedimentos que se captará con el agua y evacuar el exceso de agua captada si ocurriera respectivamente.

### 3/. Casos ilustrativos

#### Presa Derivadora de “Los Ejidos”

El año 1983, el caudal del río Piura había alcanzado la magnitud de  $\sim 3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aparentemente el aliviadero fijo fue diseñado para un caudal menor al que le tocó evacuar en esa oportunidad (existe un aliviadero de compuertas) y la estructura de aliviadero fijo fue eliminada por el agua.



Figura N° 11: Presa de Los Ejidos antes del fenómeno de Niño del año 1983



Figura N° 12: Vista aérea del daño a la presa de Los Ejidos

Finalmente, el aliviadero fijo fue reconstruido aumentando su longitud a 150m (antes tenía solo 80m).

## Presa Derivadora de Sullana

El año 1998 (segunda ocurrencia del fenómeno de niño extraordinario del pasado reciente), se han producido serios daños de socavación en la parte del fondo protegido aguas abajo del aliviadero de compuertas.

Ese año, el caudal que se presentó fue un 40% mayor que el caudal de diseño tomado en cuenta en el diseño e investigación en modelación hidráulica física. Solo este hecho, eventualmente, no hubiera sido suficiente para producir daños de la magnitud que se presentaron. El factor adicional que no se tomó en cuenta fue la acelerada erosión general del cauce aguas abajo que se dio durante los años que venía operando el aliviadero.



Figura N° 13: Presa derivadora de Sullana – protección contra erosión del colchón amortiguador aguas abajo del aliviadero de compuertas año 2017

Para mejor entendimiento de la diferencia entre lo que sucede con la presa de “Los Ejidos” y “Presa Derivadora de Sullana” es necesario saber que la primera afronta un cauce aguas debajo de cada vez mayor nivel por el proceso de deposición de sedimentos. Ambas represas son solo derivadoras, pero la segunda se encuentra aguas abajo del gran reservorio Poechos que retiene la mayor parte de sedimentos.

Entonces, cuando Poechos suelta el agua esta dispone de mayor nivel energético, a pesar de los disipadores de energía, y erosiona el cauce. Esta

erosión se potencia más aun con un adicional de energía que añade la presa derivadora. De este modo, la Presa Derivadora de Sullana está expuesta a condiciones mucho más severas, requiriéndose constante mantenimiento y refuerzos de la protección contra la erosión en zonas aguas debajo de sus aliviaderos.

#### Cuenca amortiguador del aliviadero de compuertas del reservorio Poechos

Después de más de treinta años de continuo funcionamiento, desde 1977 hasta 2011, se produjo erosión del pie del dique de la izquierda del aliviadero de compuertas (como se observa en la siguiente imagen), que empezó a amenazar su estabilidad. A raíz de ello se tomó la decisión de realizar una obra de protección para impedir mayores daños.



Figura N° 14: Se observa importante acercamiento de la profunda erosión al pie de talud de la presa por lado izquierdo



Figura N° 15: En esta fotografía aérea se nota con claridad la erosión amenazando el pie del dique izquierdo

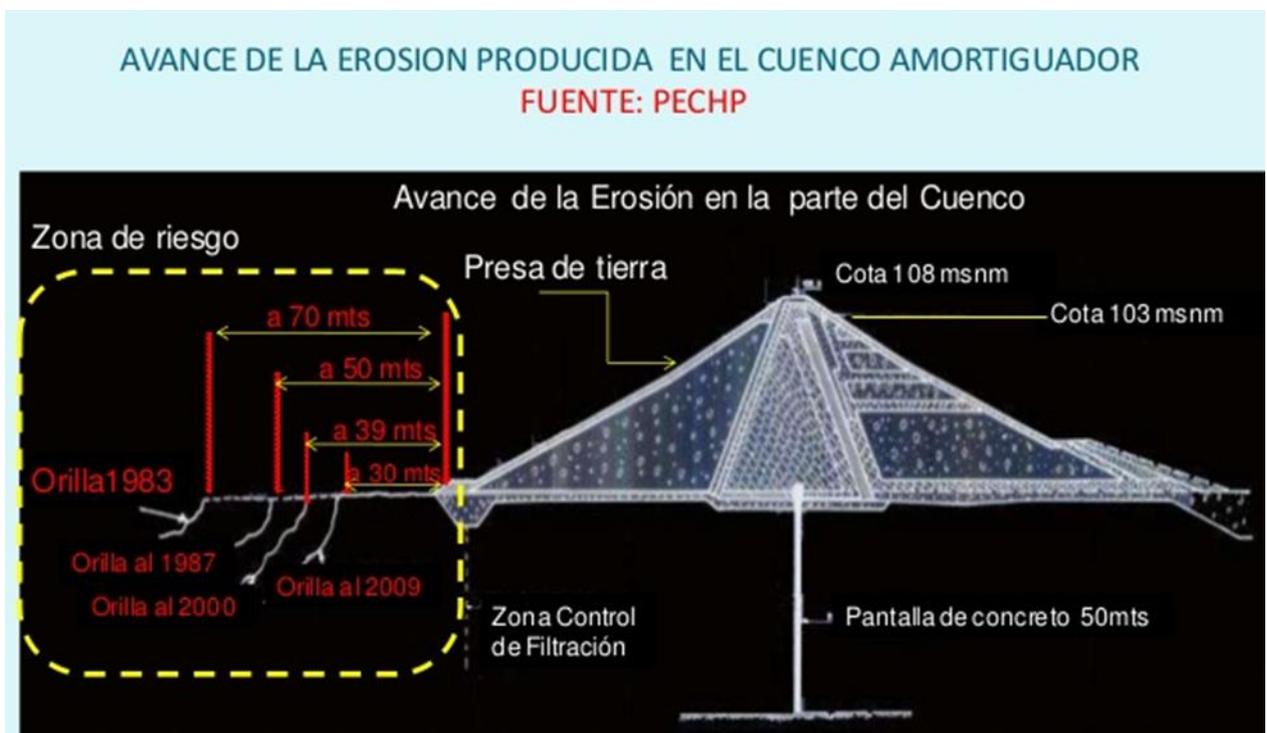


Figura N° 16: Presentación de avance de la erosión con tiempo



Figura N° 17:

La protección del cuenco amortiguador aguas abajo del aliviadero se terminó el año 2012: se observa el lado extremo izquierdo desde la presa. Todavía se notan grandes huecos de erosión por el lado derecho. En la zona menos erosionada se producía un enorme vórtice orientado en sentido contrario a las agujas de reloj, porque grandes caudales no encuentran un cauce preparado para conducirlo en forma tan concentrada como salen del aliviadero.

## Sifón invertido “Samán” de cruce del canal “Norte” con el cauce de la quebrada “Samán”

“El Sifón Samán es el cruce subterráneo del Canal Norte por debajo de la quebrada del mismo nombre en el Km. 8 de su recorrido. Tiene una longitud de 490 metros y sufrió la rotura de 3 cuerpos de concreto de 27.75m cada uno y debilitamiento de 2 cuerpos adicionales.” (citato de Portal de Transparencia del Proyecto Chira Piura).

El sifón fue afectado por las corrientes de la quebrada del mismo nombre durante la época de lluvias del año 2016 de manera que se ilustra con la siguiente imagen:



Figura N° 18\*: Vista de la quebrada Samán de aguas abajo: se observa daño al sifón invertido.

\*Cortesía de Gobierno Regional de Piura.



Figura N° 19\*: Canalización provisional de agua en primeros momentos después de colapso del sifón (vista de aguas arriba).

\*Cortesía de Gobierno Regional de Piura.



Figura N° 20: Canal temporal construido por empresa “Cosapi” 19/04/2016 (Portal de Transparencia de PECHP).

En su comentario: SIFÓN SAMÁN: LO BARATO SALE CARO,  
(Piura, 18 abril 2016) Luis Gulman Checa dice:

Luego del FEN de 1998, el contratista planteó que el Sifón Samán debía ser reconstruido profundizándolo por diversas condiciones hidráulicas de ambos ríos: Samán y Chira. ¿Qué dijeron los responsables? Que era

muy caro. ¿(optando) Optaron por alargarlo hacia la salida? ¿Mala decisión? Pésima. Por ello ahora de está “pagando pato”.

Entonces, estaríamos hablando sobre una decisión fundamentada en la falta de voluntad de gastar algo más para tener una obra con el nivel de seguridad que se merece debido a la importancia económica que tiene. Probablemente el periodo de retorno del caudal que debió poder resistir el sifón era de 100 años y se dejó tal cual siendo resistente a un caudal mucho menor. A pesar de medidas de protección que tenía en forma de gaviones, la erosión general del cauce de la quebrada junto con la socavación local causó el hundimiento de algunos tramos de la estructura de concreto armado.

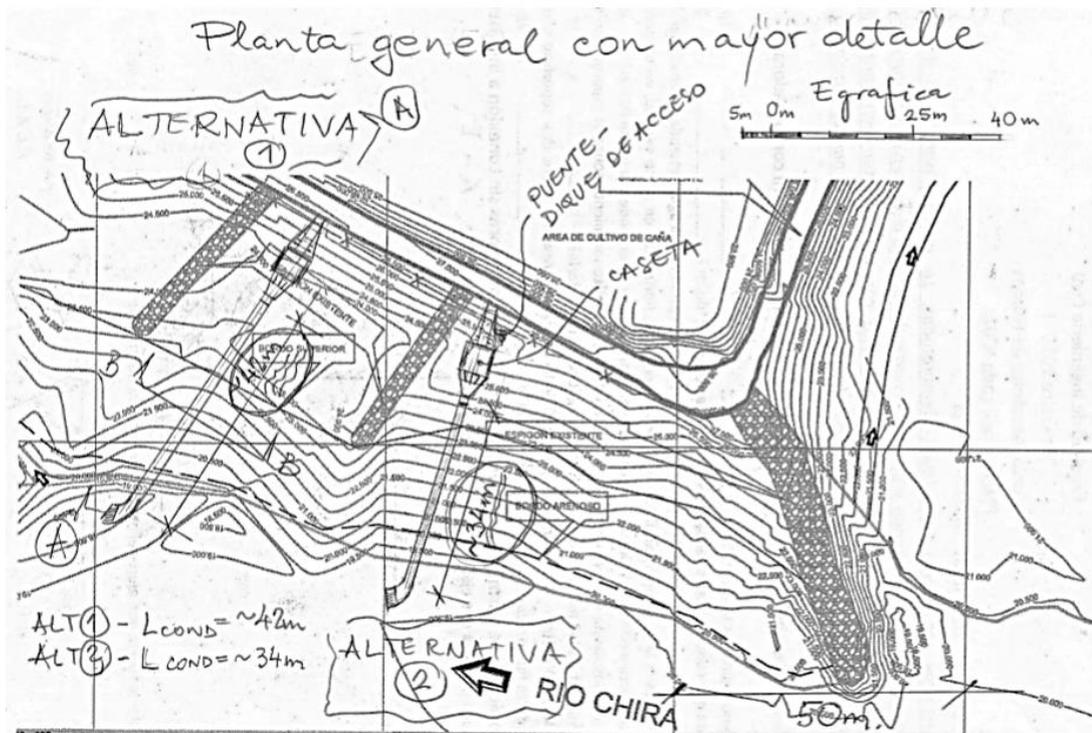
### Captación de agua del río Chira con fines de riego de un fundo agrícola

El autor fue consultado por el propietario de un fundo a desarrollar ubicado en el valle bajo del río Chira, sobre la micro locación de la captación. La posición general de la captación estaba condicionada por la ubicación del fundo y derechos de paso para el trazo más corto posible desde la orilla del río.



Figura N° 21: Ubicación general de la captación para el agua de riego de un fundo en el valle del río Chira (entre Sullana y la desembocadura al mar).

Se propuso dos alternativas de micro localción, según se aprecia del cro-



quis:

Figura N° 22: Planta propuesta con microlocaciones

El propietario, tal como suele comportarse un dueño, por más que tenga título universitario, no siendo especialista, tenía su idea:

Para él, el mejor sitio era aguas arriba, cerca de la orilla, del primer y más grande espigón.

Naturalmente, mientras no haya mayores caudales y adoptando la solución de bombas montadas sobre una balsa (que pensaba hacer) esto iba a funcionar bien. Sin embargo, a largo plazo, es bastante probable primero, que la captación experimente múltiples problemas por estar expuesto a la corriente principal, o inclusive, que este espigón sufra daños poniendo en riesgo la seguridad de la instalación.

Su observación era que las casetas propuestas podrían ser socavadas con facilidad por el río, concluyendo esto en base a la imagen de una captación de la selva cuya caseta fue diseñada como si no hubiera el peligro de erosión de la orilla y fue efectivamente desplazada por el agua a

decenas de metros de su ubicación original. En la situación propuesta, la caseta está entre dos espigones (cualquiera de las dos) y, además, se diseñó reposando sobre muros incrustados al suelo base hasta más allá del nivel más bajo del fondo del río:

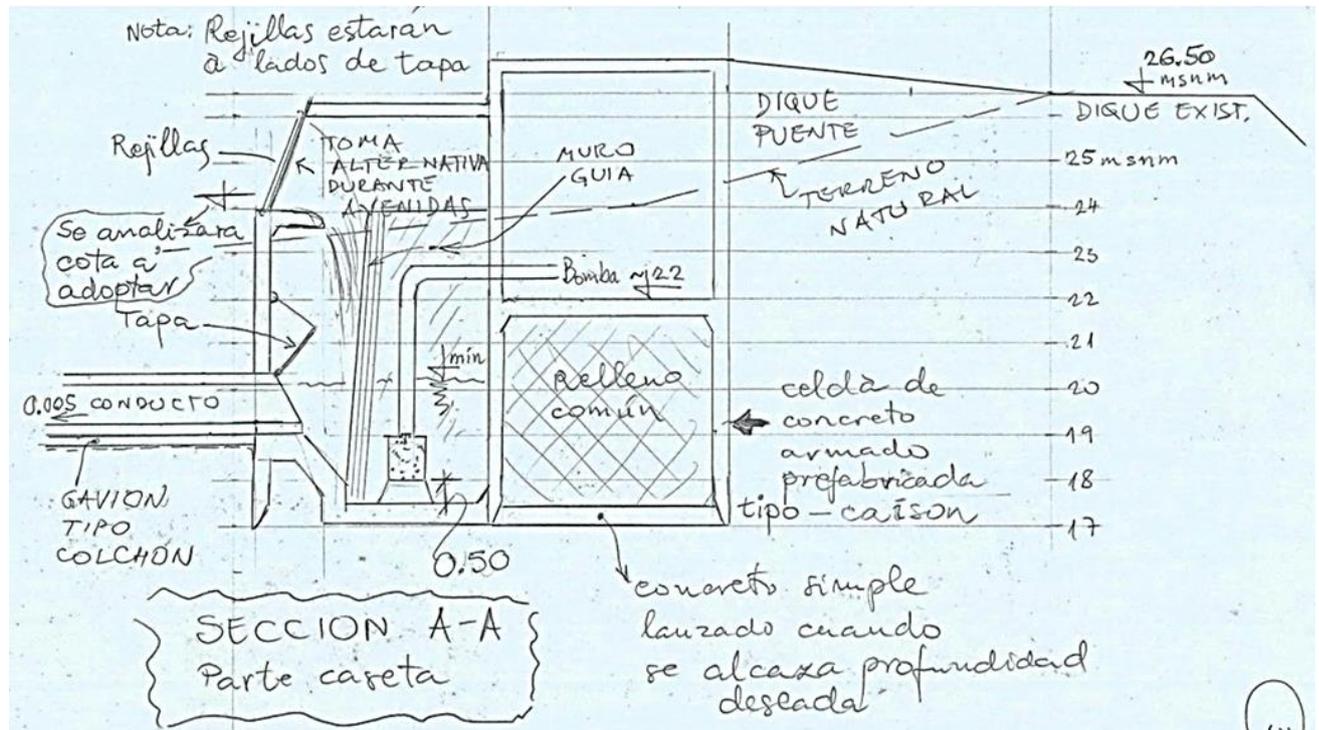


Figura N°23: Sección A-A de la alternativa 1 – propuesta por ser la menos expuesta al peligro de socavación

Es muy probable que el proyecto no fue ejecutado por responder este planteamiento a una opción que resultaba innecesaria en caso se lograra la puesta en marcha, de nuevo, del canal “Norte” que estuvo paralizado por el colapso del sifón “Samán”.

#### 4/. Problemas creados por usuarios: casos

##### Canal Parales, Proyecto Especial Chira Piura

El año 1978, al poco tiempo de ser inaugurado el canal Parales, ocurrió la destrucción de un tramo de apreciable longitud (cca 100m) por la infeliz intromisión de alguien (puede haber sido un acto de sabotaje) en la operación del canal. Fue un pequeño canal lateral, aguas arriba de la rápida

del fin del canal de derivación Chira Piura. A poca distancia de la captación existía una sección de medición de caudal, un estrechamiento rectangular del mismo. No se sabe ni quién ni por qué introdujo a la sección estrecha – de medición - piedras que redujeron la sección hidráulica y causaron el desborde inmediato aguas arriba. El terreno aledaño es arenoso y a poca distancia del talud natural de más de diez metros hacia el cauce del río Piura.

Todo esto influyó para que se produzca un cañón de erosión desde el lugar de desborde hacia el talud, tanto como en él mismo.



Figura N° 24: Ubicación del canal Parales: entre su trazo y el del río se encuentra un talud natural arenoso

Es muy frecuente que los agricultores extiendan sus parcelas en perjuicio de canales de drenaje, causando retención de aguas y consecuentes problemas de crecimiento de la napa freática y salinización del suelo agrícola.



Figura N° 25: Vista del tramo de canal Parales afectado: la garganta del medidor fue reemplazada por una caseta limnimetrica

## Capítulo V:

### **Vías de comunicación terrestre**

#### 1/. Drenaje pluvial

Tratándose del escurrimiento de la superficie del pavimento de las calzadas de vías de comunicación terrestre, carreteras, las medidas que el diseño necesariamente toma en cuenta consisten en:

- Asegurar pendientes laterales del pavimento.
- Construir canaletas, especialmente donde la rasante de la carretera experimenta pendientes longitudinales.

Los principales problemas que se manifiestan en estos casos surgen cuando la canaleta con fondo inclinado no tiene suficiente capacidad y/o

las velocidades se elevan por encima de  $\sim 3$  m/s. El lugar de descarga de un tramo de alguna de estas canaletas, en la mayoría de los casos, presenta fuerte erosión por falta de adecuados disipadores de energía, amenazando propagarse retrógradamente hacia el pavimento.

Otro problema, que se puede encontrar en los casos de terraplenes altos, es la falta canaletas, así como de la protección de taludes contra erosión y/o falta crónica de mantenimiento. Ambas cosas se pudieron observar en ciertos tramos de la carretera Panamericana Norte ( $> \text{km } 1100$ ) - el año 2003:



Figura N° 26: Vista lateral de un tramo del terraplén de Panamericana N.

## 2/. Cruces con cursos de agua – badenes, alcantarillas y puentes

Las obras de drenaje transversal de las carreteras son seriamente afectadas por algunos diseños estereotípicos. A eso se añade que los badenes y las alcantarillas son consideradas como obras de menor importancia, y suelen ser diseñadas por no especialistas.

Los badenes podrían tener mayor resistencia a la erosión porque se construyen con losas de concreto. Sin embargo, suelen ser igual de vulnerables como alcantarillas, siempre y cuando la uña de la parte aguas abajo

no tenga la suficiente profundidad para resistir la socavación por la mina vertiente y si no se impide el lavado de partículas finas por sufosión del flujo subterráneo.



Figura N° 27: ¿Por qué se produce la erosión aledaña a los muros aleros de la salida de una alcantarilla? (Panamericana Norte cerca al km 850)

La causa de este daño al terraplén es el diseño de los muros aleros: su altura baja desde la parte superior del orificio de la alcantarilla a menos de 70 cm en muy corta distancia. Es un diseño típico que no toma en cuenta lo que pasa cuando el tubo descarga con una profundidad mayor que su altura final del alero. Allí se forman vórtices que dañan el talud del terraplén según se ilustra en siguiente croquis ((22) Z. Gencel)

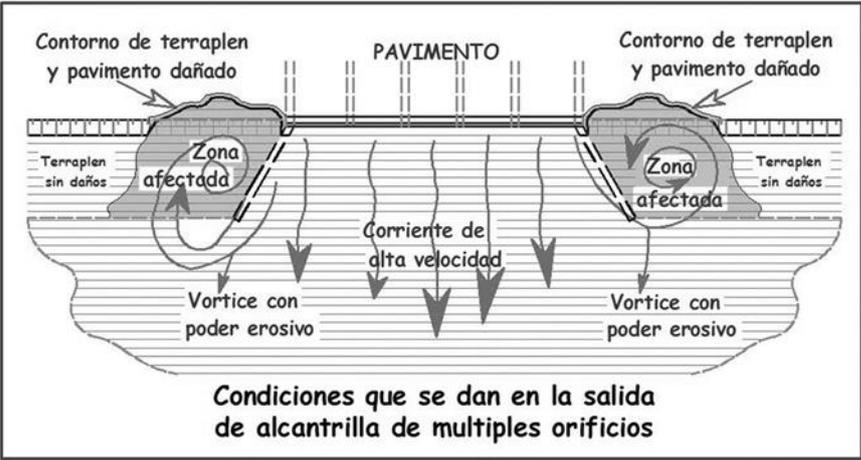


Figura 28:  
Vista en planta: formación de fuertes vorticidades del flujo saliente con tirante mayor que mínima altura de muros aleros

El muro alero debe (de) tener, en toda su longitud, la altura del parapeto de la salida; tratando además de darle longitud razonable para evitar la formación de (vorticidades) vórtices dañinos. Es necesario decir que este diseño estereotípico se repite, sin mayor preocupación, en todas partes del mundo y causa que los terraplenes sufran daños ya presentados hasta el extremo de la siguiente imagen:



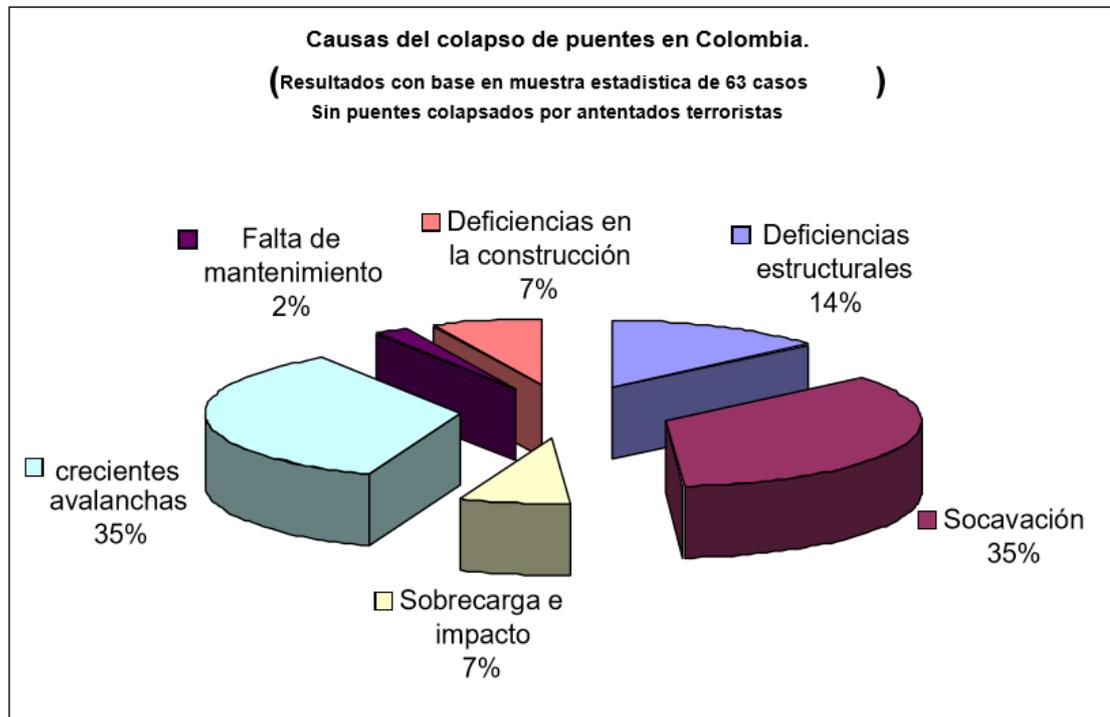
Figura N°29: Daño causado al terraplén y pavimento desde aguas abajo (Panamericana Norte km > ~820)

Además, según criterios usuales a las alcantarillas se les asocia un periodo de retorno de la avenida de diseño de 1.1 a 5 años ((19) Monsalve Sáenz, 1999), pero según otras fuentes llega también a valores 10 a 25 años (21) y según el Manual de Carreteras de MTC (20), es de 35 años (para menores alcantarillas). Tanta dispersión de recomendaciones se debe esencialmente a la importancia de una carretera. En el caso de la carretera Panamericana, no habiendo otras vías terrestres (no hay vía férrea, ni carretera alternativa), la interrupción del tránsito tiene serias implicancias económicas, lo cual explica la exigencia del criterio del MTC.

Los puentes cuestan mucho más que las alcantarillas y los badenes. A la vez, ofrecen mayor seguridad y comodidad a los usuarios. Una de las mayores causas del colapso de los puentes es la socavación.

Una investigación ((23) Muñoz Diaz, 2005) señala que la socavación (35%) junto con avalanchas (flujo de agua con solidos 35%) representa en el 70% de casos la causa de colapso de puentes (se copia la tabla del estudio):

**Tabla 2. Causas principales de colapso de puentes en Colombia.**



La siguiente causa, que contribuye en el 14% de los casos de puentes colapsados, es la deficiencia estructural que, junto con la socavación, obedece al deficiente diseño. La sobrecarga es consecuencia de la ausencia de señalización y/o negligencia de los conductores, mientras el restante 9% pertenece a deficiencias en la construcción, procedimientos y materiales inadecuados, así como al negligente mantenimiento. Es muy probable que, en todos los medios socioeconómicos, la situación sea muy semejante. Al menos entre los cuatro casos de puentes colapsados en la costa peruana, mencionados a continuación, el 75% de colapsos se debe a socavación. Naturalmente el pequeño número de ejemplos aquí analizados no ofrece resultados confiables, pero confirma la tendencia.

La socavación y avalanchas obedecen a avenidas, caudales grandes y de largo periodo de tiempo base del hidrograma. Es interesante, sobre todo,

en el caso de la socavación, analizar las diferentes modalidades que se pueden presentar:

- Socavación local: posiblemente la modalidad más frecuente que tiene consecuencias dramáticas según se aprecia en el croquis siguiente.

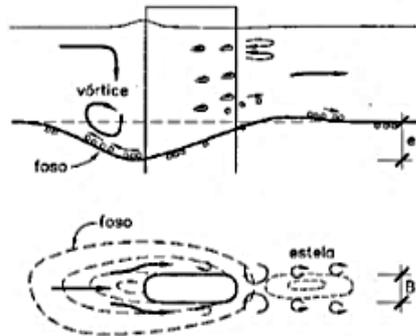


Fig. 7.17 Hidrodinámica y morfología de un foso de erosión local (alzado y planta)[2].

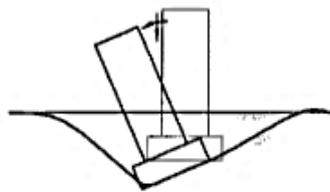


Fig. 7.18 Patología típica de un fallo por erosión local.

Figura N° 30: (24) Ingeniería de Ríos, Martin Vide,

Se nota que la poza de erosión se forma al lado aguas arriba y la deposición de material aguas abajo.

Sin embargo, en ríos efímeros, la alternativa de solución es entre badén (vado), puente o sucesión de alcantarillas (pontón).

En el caso de badén y/o pontón, la erosión que compromete la estructura(s) se da aguas abajo o a la salida de alcantarillas.

La erosión general del cauce y/o erosión retrógrada (cuando avanza hacia aguas arriba del lugar donde se producen las mayores velocidades) pueden también ser causales; sobre todo, si se realiza el encauzamiento del río con defensas ribereñas, reduciendo su sección hidráulica para avenidas sin revisión de erosión, lo cual atacará los cimientos de estructuras previamente construidas.

### 3/. Casos ilustrativos

#### Badén sobre la quebrada Sol-Sol cerca a Chulucanas

En base a la siguiente imagen se puede notar que en el momento de construir el badén, el nivel de fondo aguas arriba y aguas abajo debe haber estado semejante.



Figura N°31: Vista del badén durante la época de lluvias del año 2017

El badén tiene uñas, aguas arriba y aguas abajo. Es evidente que la sola uña no pudo prevenir el lavado de partículas finas del material de fondo de la quebrada aguas abajo y tampoco contribuyeron, a largo plazo, las grandes piedras que se colocaron una vez que se hizo evidente la reducción del nivel de fondo inmediatamente aguas abajo. La situación se ha ido agravando con cada época lluviosa sin que se apliquen correctas medidas de

mantenimiento. El nivel de fondo aguas arriba, normalmente hubiera sufrido erosión en ausencia del badén que sirve como grada contra la erosión de fondo, produciéndose aguas abajo una erosión mucho mayor que aquella de las condiciones naturales del curso de agua.

Las grandes piedras que se arrojaron en la zona erosionada y se notan en los extremos de longitud del badén, ya no se ven en la parte central más severamente castigada por erosión, por descenso del fondo de donde la lámina vertiente (cada vez desde mayor altura), evacua continuamente las partículas de arena y grava de menores diámetros.

Las correctas medidas de mantenimiento de emergencia, hoy, implicarían, primero:

- rellenar por inyecciones de concreto de grano fino los vacíos que deben existir por debajo de la losa cerca a la uña de aguas abajo (a través de orificios perforados en losas a lo largo del badén) ...y después
- colocar una capa de grava sobre el fondo existente (aguas abajo) para nivelarlo, fijar por encima de esta capa geotextil, que prevendría el lavado de partículas finas, y por encima protegerlo contra daños de piedras grandes con otra capa de grava.
- Colocar sobre lo último gaviones tipo colchón y protegerlos con piedras grandes en una longitud que corresponda a la longitud de salto hidráulico para el máximo caudal esperado ( $T \sim 50$  años).
- Asegurar el debido mantenimiento (reposición de piedras grandes que la corriente evacue) después de cada época lluviosa.

Antes que el badén llegue a este estado deplorable, se hubiera rellenado la poza de erosión formada, con hormigón, grava y piedras; lo que hubiera permitido mantenerlo en estado menos vulnerable todos los años.



Figura N°32: Desde este ángulo se observa mejor la potencia de flujo vertiente

### Alcantarilla del dren transversal de la quebrada “El Pajarito” en la vía Piura Paita(.)

El año 1999, el 31 de diciembre, se presentó un descomunal caudal en la quebrada El Pajarito del sector oeste de la ciudad de Piura.

La alcantarilla del tramo de vía Piura Sullana en su mismo cauce, (–) a poca distancia aguas arriba ya había colapsado. En el lugar de la alcantarilla Piura a Paita se había concentrado un grupo de soldados del Ejército Peruano quienes, bajo el mando del Presidente Regional de aquel momento, estaban tratando, equivocadamente, (a) de romper dos enormes vórtices que se formaban por encima y a continuación de los muros aleros de la salida de ojos de la alcantarilla, carcomiendo el terraplén atrás de los aleros.

Aguas arriba faltaba unos 30 cm para que el agua rebase el pavimento de la vía. Se logró convencer al presidente que lo que estaban haciendo no tenía futuro, empezando a acumular sacos de arena y piedras sobre la parte del terraplén en proceso de erosión. De este modo se logró salvar la

estructura que hasta hace muy poco tiempo lució como se ve en la imagen de abajo.



Figura N°33: Lado aguas abajo, se observa el terraplén dañado y piedras

#### Puente Salitral río Piura, Salitral

El año 1998 ocurrió el hundimiento de dos pilares del puente Salitral, que se encuentra en un desvío hacia la izquierda de la carretera Piura Huancabamba, kilómetros más allá del desvío para Morropón.

Breves investigaciones sobre las causas permitieron deducir las siguientes:

- \*El puente fue contratado como una obra de modalidad “llave en mano”.

- \*El diseño fue parte del contrato y lo elaboró uno de los consultores de renombre a nivel nacional, siendo una empresa extranjera que tenía el encargo de diseñar y construir.

- \*El caudal de diseño fue subestimado en un(os) 30%

- \*No hubo investigaciones geotécnicas que comprobarían la ubicación del estrato no erosionable o sólido con fines de cimentación. Las zapatas de los pilares del puente se cimentaron sobre una capa de grava de diámetros medianos a poca profundidad.

- \*Habiendo una estación hidrometeorológica (con limnómetro y curva de descarga) a unos kilómetros aguas abajo, en el cálculo hidráulico

se supuso la existencia del tirante normal (aquel que corresponde al flujo en un canal prismático).

\*El especialista en hidrología e hidráulica aparentemente no fue consultado sobre algunos aspectos de solución conceptual como, por ejemplo, extender por ambos lados del puente, dentro de la zona inundable del cauce, un camino de acceso sobre diques con cota de corona a nivel de la rasante de rodadura del puente (formando así una represa).

\*La luz del puente, de solo 97m fue subestimada, así como el nivel de la plataforma con pavimento que se ubicó demasiado bajo; considerando, en un cálculo hidráulico basado en suposiciones erróneas, un galibo de sol 67 cm para el paso de palizada.

\* Los accesos al puente, que ocupan 570m de longitud, de los cuales más de 470m en el plano de inundación de la margen derecha hacia el pueblo, formaban una REPRESA sin aliviadero adecuado que se rompió al presentarse mayores caudales y acumulación de la masa de agua que finalmente se desbordó por encima de la corona de los diques.

El puente fue reparado usando gatas hidráulicas sobre los pilares hundidos para asegurar la posición horizontal del tablero (proveyendo relleno con concreto armado de los pilares hundidos). ¡El año 2017, el 31 de marzo, ocurrió un nuevo hundimiento del pilar central por 50 cm!



Figura N°34: Vista del puente dañado, desde la margen derecha (año 1998)



Figura N°35: Vista del puente Salitral de la misma orilla 19 años después

En conclusión, es posible deducir que las partes del concepto erróneo jamás se corrigieron completamente. Existe un nuevo diseño que iba a materializarse el año 2016 y representa la ampliación del puente hacia la margen derecha.

### Puente Bolognesi río Piura, Piura

Fue construido el año 1967, cuando el río Piura todavía inundaba a la ciudad por brazos antiguos del mismo río al presentarse avenidas. Desde los años 1950 hasta 1972, en la cuenca del río Piura llovía poco y no se presentaron inundaciones hasta el año 1983, cuando se presentó el fenómeno del Niño con un potencial extraordinario. El año posterior se construyeron diques de encauzamiento del río dentro de los límites urbanos. Esto varió de manera importante las condiciones de flujo bajo los puentes, pero la única intervención que se dio al puente, después de pasar grandes caudales, fue rellenar el fondo erosionado con material granular hasta el

nivel de las zapatas del puente que reposaban sobre baterías de pilotes de escaso diámetro (~40cm).



Figura N° 36: Vista del puente Bolognesi después de colapso de dos tramos

### Puente “Viejo”, río Piura, Piura

El Puente Viejo fue construido, por primera vez, con aportes del pintor piurano Ignacio Merino el año 1891, siendo una estructura metálica comprada a la empresa Findlay de Inglaterra. Fue dañado y reconstruido varias veces. La última vez, antes de avenidas del año 1998, fue el año 1981 por el ingreso imprudente de un camión de mayor tonelaje que su capacidad.

La causa de su desaparición, el año 1998, puede haber sido, en parte la socavación, pero el impulso principal vino de un árbol derribado que fue usado en la margen derecha aguas abajo del cuarto puente (puente Cáceres) como defensa contra la erosión. Cuando se desprendió de una soga que lo mantenía junto a la orilla en este lugar fue llevado por la corriente.

Pasó el puente Sánchez Cerro, que debido a su masa y solidos pilares resistió, impactando con toda su fuerza contra la superestructura del Puente Viejo, causando su caída.



Figura N° 37: Vista del Puente Viejo el año 1992



Figura N° 38: Vista del puente con altos caudales del río



Figura N° 39: Puente Viejo después de colapso

Puente Andrés Avellino Cáceres, zona urbana Piura:

Fue construido el año 1998 bajo la modalidad “Llave en Mano” (turnkey contract) implicando que el constructor proveía el diseño y entregaba la obra construida.

Nadie duda que la ubicación y longitud del puente no fueron definidos según las mejores prácticas en ingeniería, ya que para reducir su luz se acudió a rellenar parte de la margen izquierda agravando de este modo la situación de la margen derecha en el ramo del puente y propiciando la alteración de las líneas de corriente existentes antes de la construcción. Varias personas renunciaron a sus cargos en señal de rechazo y la comisión de aprobación del proyecto se formó entre ingenieros, siendo unos “los incondicionales” y/o de poca experiencia.

Hasta hoy, el Dr. Luis Reyes Carrasco insiste en que la única manera de remediar la situación es introducir un corte –canalizar el río cortando la

margen izquierda- que evitaría la curva potenciada por la solución que se le ha dado. Lo mínimo que aceptan otros es al menos prolongar el puente hacia el lado de Castilla (donde se colocó relleno). Lo interesante y sintomático es que el diseñador del cuarto puente es el mismo que ha diseñado el puente Salitral repitiendo un error garrafal por su desprecio de la ingeniería hidráulica.



Figura N° 40: Vista satelital del puente Cáceres – cuarto puente con el trazo de corte sugerido por Dr. Ing. L. V. Reyes Carrasco



Figura N° 41: Vista más cercana del puente Cáceres revela presencia de la protuberancia agravante de la margen izquierda. Las mediciones realizadas con eco-sonder mostraron que hasta ahora las cimentaciones no han sido socavadas de manera que pueda comprometer la estabilidad e integridad del puente. Sin embargo, en la siguiente imagen se muestra lo que sucedió el 27 de marzo de 2017:



Figura N° 42: La insuficiente luz del puente Cáceres implica remanso adicional notorio aguas arriba del puente

## Puente Independencia río Piura, cerca de La Arena



Figura N° 43: Foto aérea –  
El puente Independencia une la localidad de Catacaos, cerca de Piura, con la zona urbana de «La Arena». El río escurre de derecha hacia izquierda

Construido TRES veces (una vez aguas arriba y otras aguas abajo de la versión existente), siendo la tercera versión constantemente amenazada por el río. Los caudales mayores de 2200 m<sup>3</sup>/s no dejan ningún espacio libre por debajo de las vigas. Aunque fuera dos veces más largo se requiere(n) los trabajos de las defensas ribereñas para que el flujo del río vuelva a su cauce del momento cuando se construyó la estructura actualmente en uso.



Figura N° 44: El sentido de flujo en el río Piura es de izquierda hacia derecha, igual como el sentido de irse de Catacaos a La Arena por el camino del cual el puente es una parte. Se puede observar la curva pronunciada que ataca la margen izquierda del río y la carretera que viene de Catacaos.



Figura N° 45: Hoy la situación es mucho más grave, por la ausencia de obras de defensa ribereña que debería haberse introducido aguas arriba desde hace años atrás para impedir el avance del meandro. Lo único que se hizo es una guía (cuarta parte de elipse) que encauza mayores caudales un poco mejor hacia el puente. (El año 2017 se ha provocado intencionalmente la rotura del terraplén de la carretera de la margen izquierda causando inundación de poblados aledaños.)



Figura N ° 46:

Imágenes de flujo del río tomadas del puente Independencia mirando hacia aguas arriba. ¡Se nota que el flujo, normalmente encierra con el eje del puente un bajo ángulo debiendo ser este cercano a 90°!

El flujo se aproxima en forma casi paralela a la luz del puente en vez de estar encerrando ángulo recto como fue en momento de su inauguración. La negligencia que ha permitido el avance de la erosión de la margen izquierda hace pensar que la solución es prolongarlo y/o construir uno nuevo. Lamentablemente, en hacer propuestas se utiliza muy poco el análisis integral del problema.

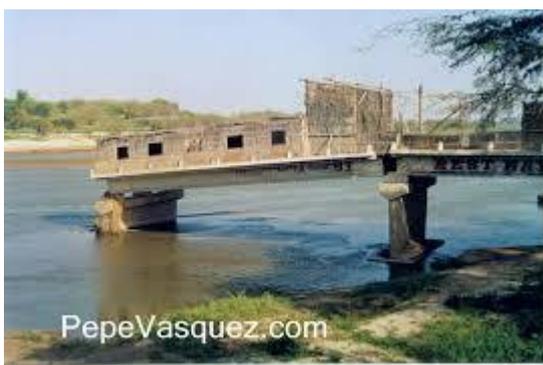


Figura N° 47:

Restos de la segunda versión del puente en la margen derecha aguas abajo del puente actualmente existente. Los eliminaron hace unos diez años.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones tiene previsto construir un nuevo puente Independencia cuando la regulación del río aguas arriba y la elevación de estructura de rodadura sea suficiente para que funcione bien. EL autor considera que la decisión de construir un nuevo puente carece de análisis profundo y tiene característica de soluciones políticas.





Figura N° 50: Se observa cómo la protuberancia del estribo derecho obliga al flujo a dirigirse hacia la otra orilla. Carente de consideración hidráulica y de suficiente protección, el estribo derecho fue eliminado con tres tramos del puente, estableciéndose, posteriormente, cinco tramos más en lugar de buena parte de la protuberancia.

## Puente Solidaridad (Talavera), río Rímac, Lima

La falla del puente Solidaridad ocurrida el 19/03/2017, (y) construido el año 2010, causó gran polémica respecto a sus razones.

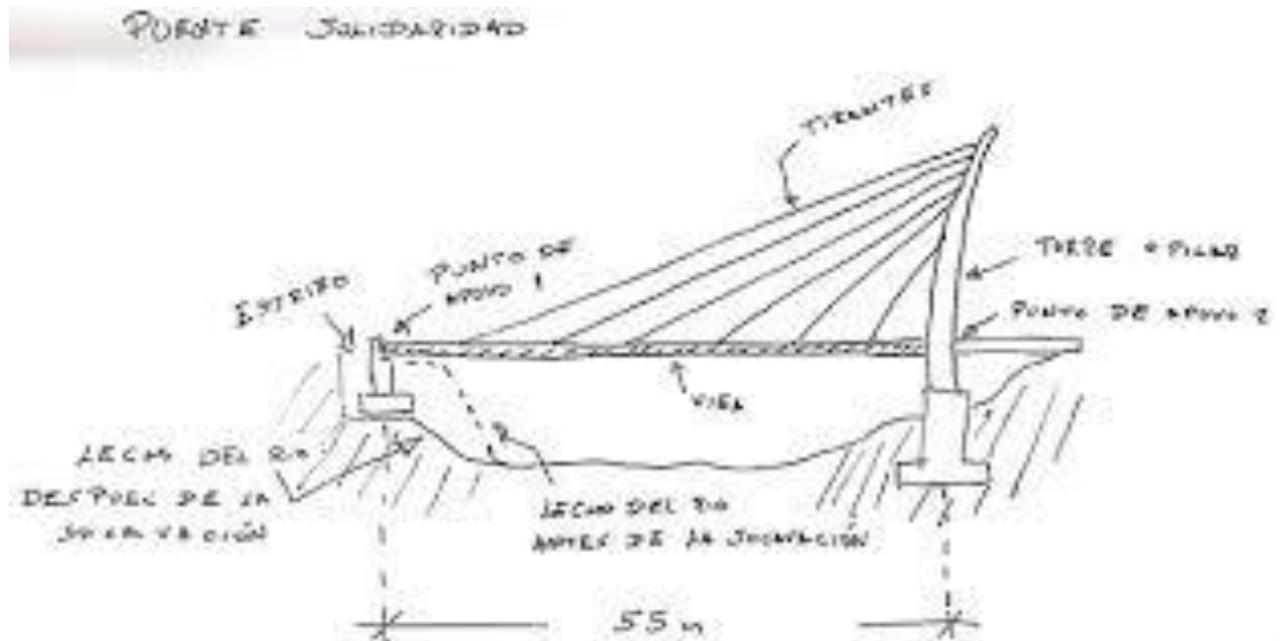


Figura N° 51: (croquis Aweita.pe) Presentación esquemática del puente

Considerando que los cables no pudieron prevenir el “desplome” de la estructura rodante del puente, es probable que no tenían la función de cargar con todo, sino, solo, prevenir las deformaciones y soportar una parte del peso. La socavación de la margen pudo haberse prevenido, posiblemente, si los diseñadores hubieran tomado en cuentas dos cosas:

- El peligro de erosión de la margen izquierda desde más aguas arriba, que hizo inútil la defensa muy localizada provista al estribo izquierdo.
- El material de la ribera, imagen izquierda, que es altamente erosionable; más aún por el impacto del agua con sedimentos que transportaba el río.

Imprudentemente, el estribo izquierdo se cimentó a muy poca profundidad, confiando que un estrato del conglomerado iba a resistir la erosión; sin haber analizado esta suposición con más seriedad.



Figura N° 52: Vista satelital del cauce del río Rímac aguas arriba del puente El estribo socavado se encuentra en la orilla izquierda, atacada por la corriente, estando en ribera cóncava. Nuevamente el análisis hidráulico se ha ignorado reemplazándolo por un análisis rutinario, que resultó insuficiente.

La soberbia de los diseñadores de puentes, quienes creen que el análisis estructural lo es todo todavía, conlleva a fallas y colapsos de los puentes. La mentalidad mercantilista de los actores principales disminuye la seriedad de los análisis hidráulicos y de geomecánica. Los profesionales de estas especialidades se contratan a menudo solo por un par de días; no forman parte permanente del grupo y, a menudo, no tienen experiencia ni

idoneidad para darse cuenta y advertir sobre los riesgos que el proyecto puede correr.



Figura N° 53: Estribo izquierdo momentos antes de colapso (fuente Utero.pe)



Figura N° 54: Momento de colapso del estribo (Fuente actualidad.rt.com)



Figura N° 55: Vista desde aguas abajo del tramo del río que refleja la pronunciada erosión de la margen izquierda, coincidente con la ubicación del estribo: (Fuente lucidez.pe)

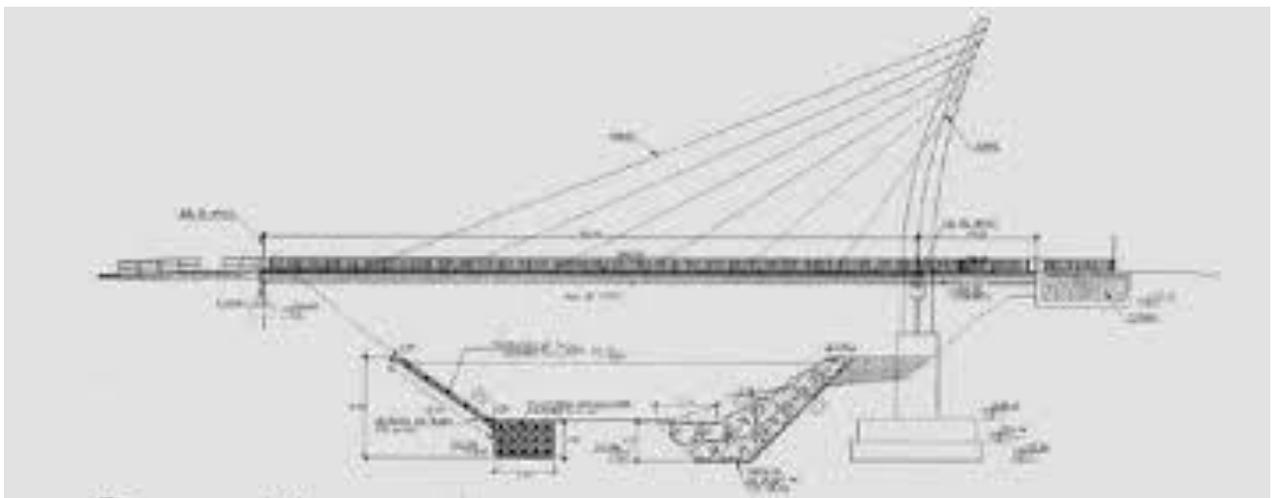


Figura N° 56: La más sólida defensa ribereña protegía la parte de la curva que siempre sufre deposición de material erosionado de la orilla opuesta; y la que se erosionó (cosa que se pudo prever sin duda) está apenas protegida. (Fuente forosperu.net – vista hacia aguas abajo)

## Capítulo VI:

### Centrales hidroeléctricas

1/. Estructura de tamaño de las existentes y tendencias de desarrollo en el futuro próximo

El potencial aprovechable hidro energético del Perú alcanza 69,445 MW, según la tabla tomada de (31) de Osinerg:

<b>Cuadro 5-2: Potencial de energías renovables</b>		
<b>Fuente</b>	<b>Potencial</b>	<b>Aplicación</b>
Hidroeléctrica	69 445 MW	Electricidad
Solar	Radiación media diaria: 250W/m <sup>2</sup>	Electricidad, calor
Eólica	22 450 MW	Electricidad
Geotérmica	3000 MW	Electricidad, calor
Bioenergía	177 MW (biomasa) 5151 MW (biogás)	Electricidad

Fuente: Irena, 2014b. Elaboración: GPAF-Osinerg/min.

Figura N° 57: Es notoria la prevalencia del recurso hídrico entre energías renovables. No se incluye energía de oleaje del mar, que tiene cabida

La participación de las centrales hidroeléctricas en el sistema de generación de energía eléctrica del Perú es de aproximadamente 45% de potencia instalada (de los cca 7,200 MW) y, en época de lluvias, alcanza hasta 70% de la energía producida (en promedio 48%). Este último dato, naturalmente, depende de la situación hidrológica del año. Además, es necesario tomar en cuenta que con el transcurso del tiempo ocurre la incorporación de nuevas fuentes hidroenergéticas y otras.

La Central hidroeléctrica más grande del Perú todavía sigue siendo la CH Mantaro, con casi 900 MW instalados.

Existen estudios de instalación de centrales hidroeléctricas en el río Marañón que llegan a una potencia instalada de 4,500 MW en el caso de la más grande. Su viabilidad depende también de consideraciones medioambientales. Aparte, este planteamiento implica muchas CH de mediana potencia (~ 350 MW).

## 2/. Problemas más frecuentes que se pueden identificar y sus orígenes

Los problemas que enfrentan las CH del Perú, en muchos casos, se deben a la presencia de sólidos en el agua. Esto es más pronunciado cuando de abrasión de turbinas se trata, pero también se presenta en filtros de agua de refrigeración. La mayoría de CH al hilo de agua (sin acumulación) sufre seriamente de este problema, pero aun teniendo un reservorio como fuente del agua, la turbiedad (partículas en suspensión) presentará problemas para los filtros de vez en cuando.

Los problemas más serios referentes a estructuras, abarcan desde la rotura del conducto forzado por golpe de ariete, el desprendimiento del revestimiento en caso de túneles, el exceso de sólidos flotantes y, en contados casos, hasta el deslizamiento de laderas aguas arriba de la captación.

## 3/. Casos ilustrativos

### Central hidroeléctrica Santa Cruz I y II en Ancash:

Ocurrió el año 2012, solo tres años después de la inauguración de la central. Un desprendimiento de hielo de glacial provocó el desborde de la laguna Taullicocha causando daños entre otros en la central Santa Cruz (en cascada a 2 km de distancia). Es provincia Huaylas del departamento de Ancash.



Figura N° 58: Obra de captación afectada por aluvión

Cada una de las dos centrales afectadas tiene una potencia instalada de 6.75MW

### Central hidroeléctrica Machupicchu

Ubicada en distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba, Departamento de Cusco. Usa recursos del río (Urubamba) Vilcanota captados a un nivel 375 m más alto y devueltos al río después de mover las turbinas.

La Central Hidroeléctrica Macchu Picchu fue construida el año 1954. En el momento del accidente tenía una potencia instalada de 107 MW. Fue afectada por la inundación el año 1998. Lo que ocurrió es que fue sepultada bajo una avalancha: quedó a 60m por debajo de sólidos. Dentro del cauce del río se formó un huayco por deslizamiento de masa de suelo de la ladera. El material deslizado causó acumulación de agua hasta que fue removido al superar el nivel de agua la corona de material depositado en el cauce del río.

El año 2001 la central ya fue rehabilitada y repotenciada el año 2016, disponiendo hoy de una potencia de 192MW.



Figura N° 59: Vista en planta del esquema de ubicación de la CH Machupicchu

## Captación de agua para las centrales hidroeléctricas Mantaro y Restitución

Aguas arriba de la presa Tablachaca, la misma que garantiza captación de agua para las centrales hidroeléctricas Mantaro y Restitución, se encuentran, en la zona de remanso, varios deslizamientos que fueron sanados y cuya situación es objeto de constante observación.

### Capitulo VII:

#### **Puertos y vías de transporte acuático**

##### 1/. Puertos marítimos, protección, recuperación de playas y de orillas urbanizadas

La interacción del mar y las obras en su orilla, necesariamente implica cierto grado de medidas defensivas. La acción de las olas frente al litoral siempre causa una corriente litoral y de resaca. La primera corre paralela a la línea de la tierra, entre la línea de la rompiente y la línea de la orilla; y, la segunda, se interna en forma casi perpendicular al contacto con la orilla. Ambas transportan sedimentos erosionados por disipación de energía de las olas cuando rompen, de un lugar al otro. Así se puede encontrar tramos de litoral propensos a sufrir constante alteración a favor del agua (el agua invade partes de litoral firme) y, en otros lados, las corrientes dejan su carga de sedimentos formando depósitos nuevos. A veces estos depósitos se ubican donde menos deseáramos como, por ejemplo, en las entradas a dársenas de los puertos, o alrededor de muelles tipo bajo a alto bordo perpendiculares a la línea de orilla y sin protección, orientados hacia el mar abierto.

La mayoría de las playas (de uso recreacional) son víctimas de procesos erosivos: hasta el 75% de las playas del mundo sufren erosión y requieren aplicación de medidas de protección y recuperación. Por otro lado, también en el mismo porcentaje aproximativo, ocurre la explotación de arena costera para fines de industria de la construcción.

Este problema de déficit de arena y pérdida de playas se ha acentuado por la descontrolada urbanización de las costas con fines de turismo y/o vivienda.

El país no es excepción a estas tendencias y hoy el problema de infraestructura costera se siente con toda la gravedad posible. El puerto Salaverry de Trujillo es el ejemplo más pronunciado, en parte por la baja cultura de ingeniería marítima del país. Salvo en el programa académico de la Universidad Nacional de Piura en la especialidad de Ingeniería Civil, no hay otro curso de pregrado de las demás universidades de carácter obligatorio que trate el tema. Algunos cursos eventualmente abarcan (dentro de recursos hídricos) la caracterización de puertos, así mismo en postgrado; pero ninguno cubre los diferentes fenómenos que se producen en la interacción del ambiente marítimo con la costa. Como ejemplo esencial de estos vacíos de conocimientos, está el hecho que al establecer un espigón para evitar la erosión de arena solo se consigue la protección en la zona aguas arriba de la corriente litoral. Agus abajo, al contrario, se producirá la erosión.

Las obras marítimas de cualquier clase producen alteración de los procesos naturales; y, sin los conocimientos necesarios para un diseño que mitigue las consecuencias negativas, necesariamente conllevan a la aparición de problemas.

## 2/. Infraestructura de las vías de transporte fluvial

El transporte fluvial se refiere a canales naturales y artificiales que se usan como vías acuáticas de transporte dentro del territorio continental. El transporte fluvial, por la naturaleza de las unidades que se usan (barcazas en canales artificiales y barcos en ríos navegables), puede lograr mayores rendimientos energéticos y menores precios de transporte por unidad de carga. Algunos países del mundo, como Francia y Holanda en Europa, China e Indochina en Asia, Canadá y Estados Unidos en América del Norte, desarrollaron grandes proyectos antes de la aparición de las vías férreas para

hacer el transporte más rápido y más económico. Francia cuenta con más de 8,500 km de canales navegables.

El Perú tiene acceso a la vía fluvial por el río Amazonas y sus tributarios al océano Atlántico y a otros países de la cuenca del mismo.

Podría decirse que los principales problemas se presentan por acumulación de sedimentos, pero también por erosión de fondo debido a hélices de motores (caso de los canales marítimos de Venecia). Otra fuente de serias dificultades proviene de grandes oscilaciones de niveles en el caso de canales fluviales naturales y de la morfología de cauces fluviales por traslado de meandros; que, con el tiempo, convierten las buenas ubicaciones de puertos en tramos sin agua.

### 3/. Casos ilustrativos

#### Puerto de Iquitos

El caso del puerto fluvial de Iquitos es característico como ejemplo de alteraciones morfológicas del cauce que afectan ubicación del puerto.

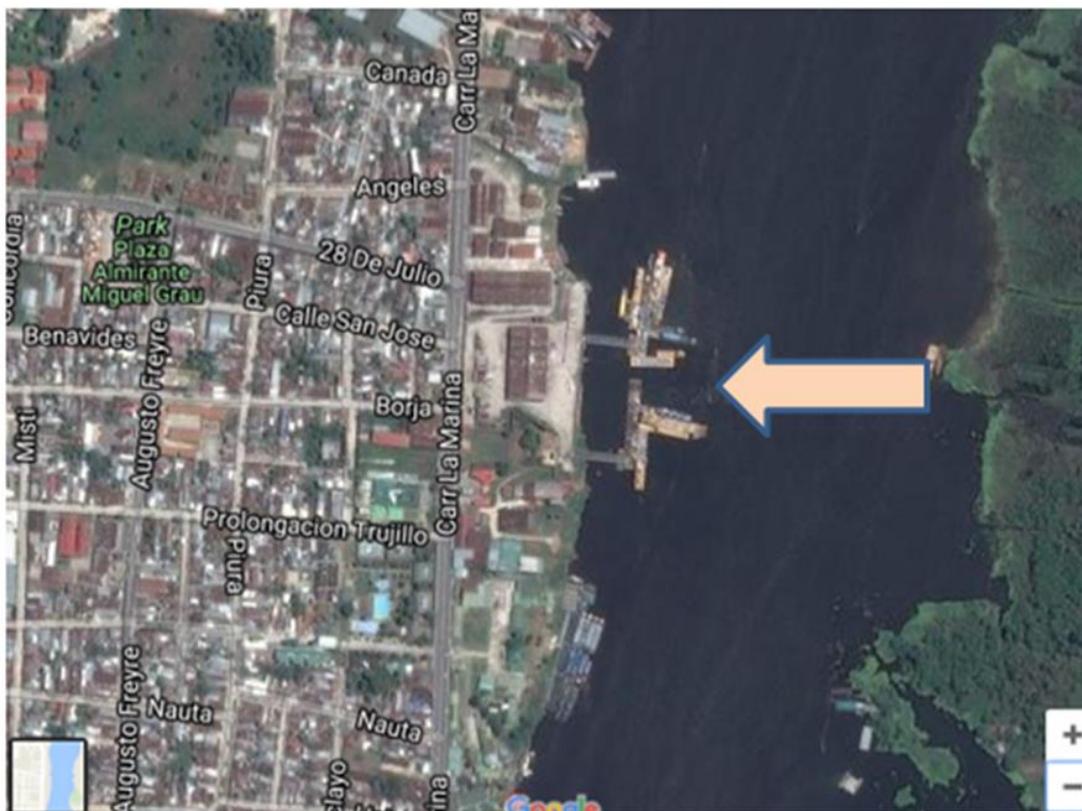


Figura N° 60: Ubicación del puerto de Iquitos



Figura N° 61: El cauce del río pasaba por el puerto Iquitos el año 1984

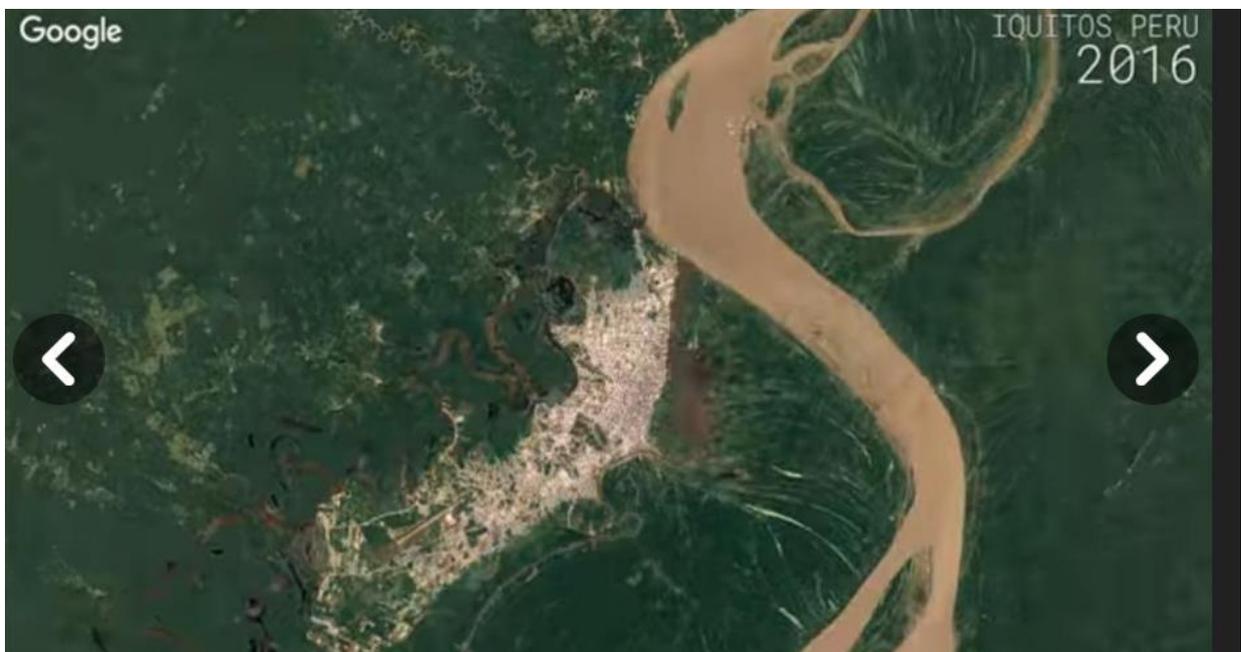


Figura N° 62: El año 2016 Se observa que las aguas del río corren lejos del puerto

Tal como se puede deducir de las fotografías anteriores, el cauce del río está variando su posición durante años, habiendo abandonado la ruta original bordeando la ciudad, por un trazo que deja solo superficie acuática en la zona de puerto. Con el tiempo, la unión entre esta superficie y el cauce activo del río se llenará de sedimentos; por lo cual es necesario dragarla para garantizar la funcionalidad del puerto.



Figura N° 63: Actual ubicación del puerto de Iquitos



Figura N° 64: EL puerto de Iquitos inundado por crecida del río Itaya 2015 (fuente: You Tube)

Cada vez que el nivel de alguno de los ríos circundantes (Itaya, Amazonas ...) crece más, el puerto queda inundado; problema que requiere otro tipo de medidas para su defensa. Las inundaciones se han registrado los años recientes en 2012, 2015 y 2017.



Figuras N° 65 y 66: Vista del puerto de Iquitos que hoy necesita mantenimiento de dragado para poder operar (fuente: enapu.com)



Figura N° 67: Instalaciones del puerto de Iquitos y muelles flotantes (fuente enapu.com)

### Puerto de Salaverry Trujillo (La Libertad)

La problemática del puerto Salaverry empezó a perfilarse poco tiempo después de su inauguración. La entrada a su dársena empezó a arenarse, lo que se quiso remediar con un rompeolas perpendicular a la línea de orilla.

Un rompeolas retiene la arena en su parte aguas arriba respecto a la corriente litoral, pero intensifica la erosión de la playa aguas abajo según se observa en el esquema:

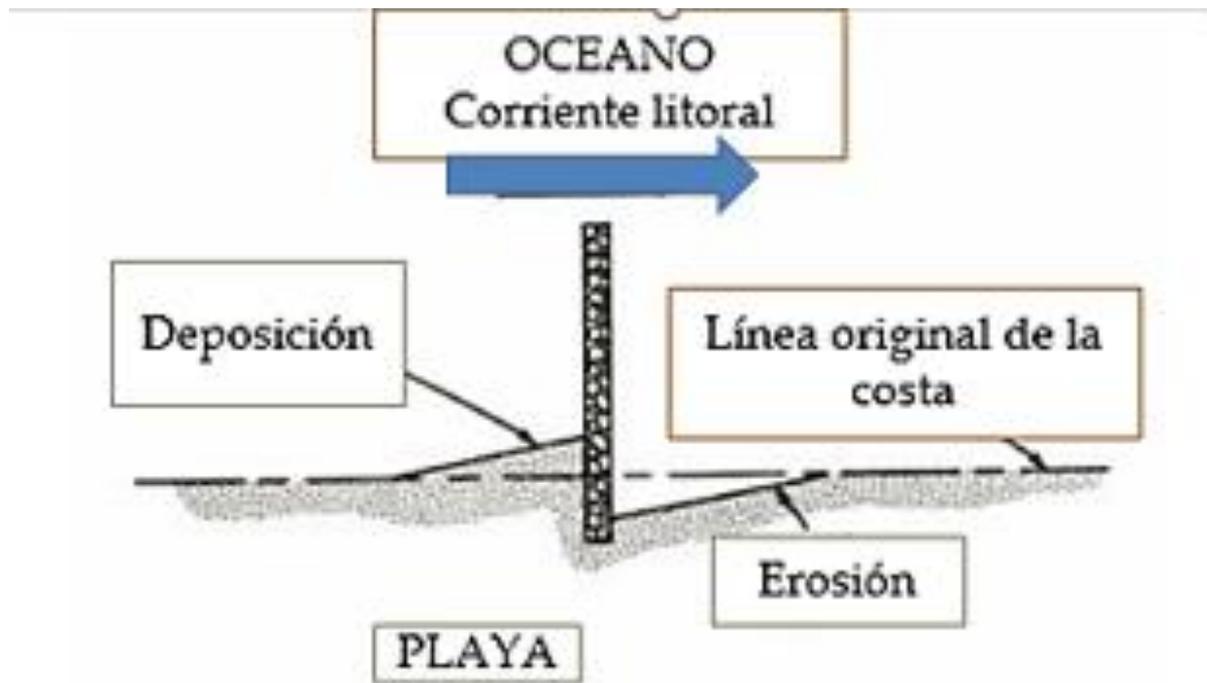


Figura N° 68: Influencia de la incorporación de un espigón sobre la morfología local del litoral



Figura N° 69: Costa precedente a la zona del puerto. La línea amarilla señala la posición de contacto de agua con tierra antes de la construcción del “molón”



Figura N ° 70: Vista del puerto y de parte de la dársena desde la tierra (fuente enapu.com)

La introducción del espigón perpendicular a la costa tuvo repercusión a lo largo de varios kilómetros en sentido de la corriente litoral; las playas “Las Delicias”, “Buenos Aires” y “Huanchaco” fueron literalmente devastadas por la erosión, perdiéndose una amplia franja de arena en frente de las propiedades, así como las propiedades mismas.



Figura N ° 71: Avanzada erosión de la orilla (fuente trujilloinforma.com)

## Capítulo VIII:

### **Obras de regulación de ríos**

1/. Cursos mayores de agua, diques, revestimientos de orillas, espigones, umbrales contra erosión de fondo

Según la posición actual de los círculos especializados, los ríos deben gozar de libertad para seguir los procesos naturales de desarrollo morfológico sin injerencia humana. Por esta razón, en los últimos años, cada vez es más frecuente la práctica del retiro de menores obras añejas de captación y hasta regulación con fines de permitir el restablecimiento del medio y la dinámica natural de cursos de agua con beneficio medioambiental.

En una gran mayoría de casos, la urbanización de valles es tan avanzada que el mencionado principio no es posible de respetar, y los nuevos proyectos de obras hidráulicas encuentran cada vez más resistencia, afrontando en primer lugar los enormes costos que implica reubicar la existente ocupación de tierras. Donde no hay centros urbanos, la filosofía medioambiental limita el establecimiento y los alcances de nuevas obras hidráulicas.

Hablando de situaciones habituales, los seres humanos necesitan ejercer cierto grado de control sobre los cursos de agua mediante obras, tomando en cuenta la infraestructura urbana y económica existente. Las estructuras hidráulicas cumplen dos funciones: aprovechamiento y defensa. En muchos casos, la obra de aprovechamiento tiene elementos de defensa también. Hablando de obras de regulación, la primera idea es defensa, pero a menudo se combina con aprovechamiento: los reservorios que permiten regular máximos caudales en un cauce a la vez sirven como reservas de agua para diferentes fines.

Limitándonos a obras de defensa (el aspecto de aprovechamiento se presenta en otros capítulos), nos referimos a obras lineales contra inundación, protección de riberas contra erosión de orillas y del fondo, umbrales en el fondo de quebradas y ríos montañosos (en partes altas de cursos de agua). Entonces se habla de diques que defienden zonas urbanas y rurales contra inundación, espigones y revestimientos de orillas para impedir su erosión y umbrales incorporados en el fondo para controlar la erosión

general del cauce. Todas estas obras tienen como limitación, resistir sin mayores daños hasta para un caudal que se haya definido como nivel de defensa de riesgo razonable. Fuera de este rango a menudo sufren importantes daños.

## 2/. Casos ilustrativos

### Diques de defensa contra inundaciones en zonas urbanas y rurales de los ríos Piura y Chira

El año 2017, la costa norte peruana ha sufrido embates de lluvias extraordinarias producidas por el fenómeno del “Niño Costero”.

El año anterior, un caudal menor ( $\sim 600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) del río Piura había causado en la zona urbana de la ciudad de Piura niveles muy altos. Esto fue una advertencia que las defensas, diques, contra inundaciones ya no tenían la capacidad suficiente.

La razón de ello es la naturaleza de procesos característicos para parte baja del cauce: deposición acelerada de sedimentos. El río pasa por dos lagunas (Ramon y Virrilá – ver siguiente figura) y solo excepcionalmente descarga vía estuario Virrilá una menor parte de sus caudales altos al mar.

El fenómeno de deposición de sedimentos por baja pendiente del fondo del cauce se agrava por reducción de la pendiente del fondo de río, que es baja en esta parte, aun sin el agravante de descargar a lagunas.

A pesar que el año 1998 (anterior al fenómeno Meganiño), las defensas resistieron un caudal cercano a  $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$  sin inundación, se perdió de vista la elevada deposición de sedimentos en el Bajo Piura durante los 19 años que transcurrieron. Hubo algunas interferencias locales respecto al nivel de corona de los diques, pero la esencial causa de desborde del río en zonas urbanas de Piura y Catacaos fue el proceso morfológico de reducción de secciones hidráulicas del río por deposición de sedimentos.

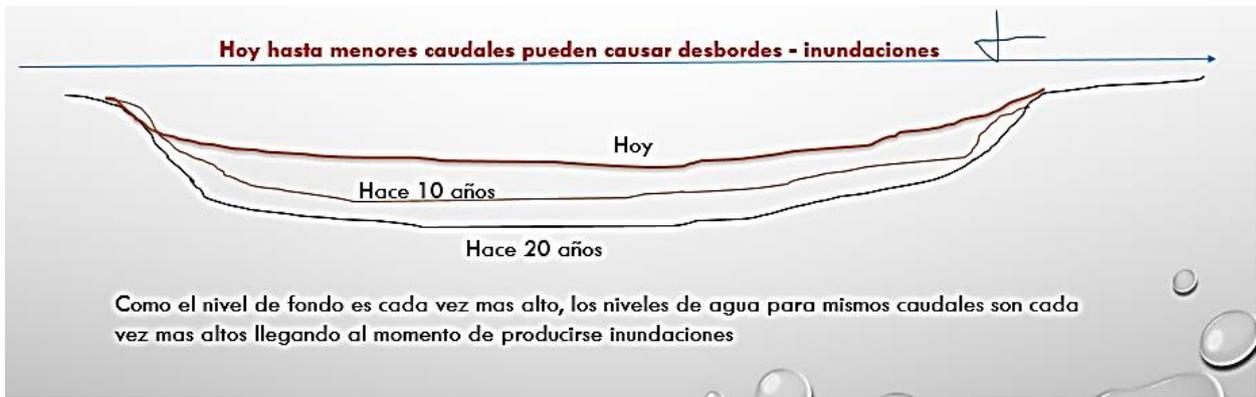


Figura N° 72: Presentación esquemática de variación de la cota de fondo durante años y consecuente reducción de la sección hidráulica del cauce

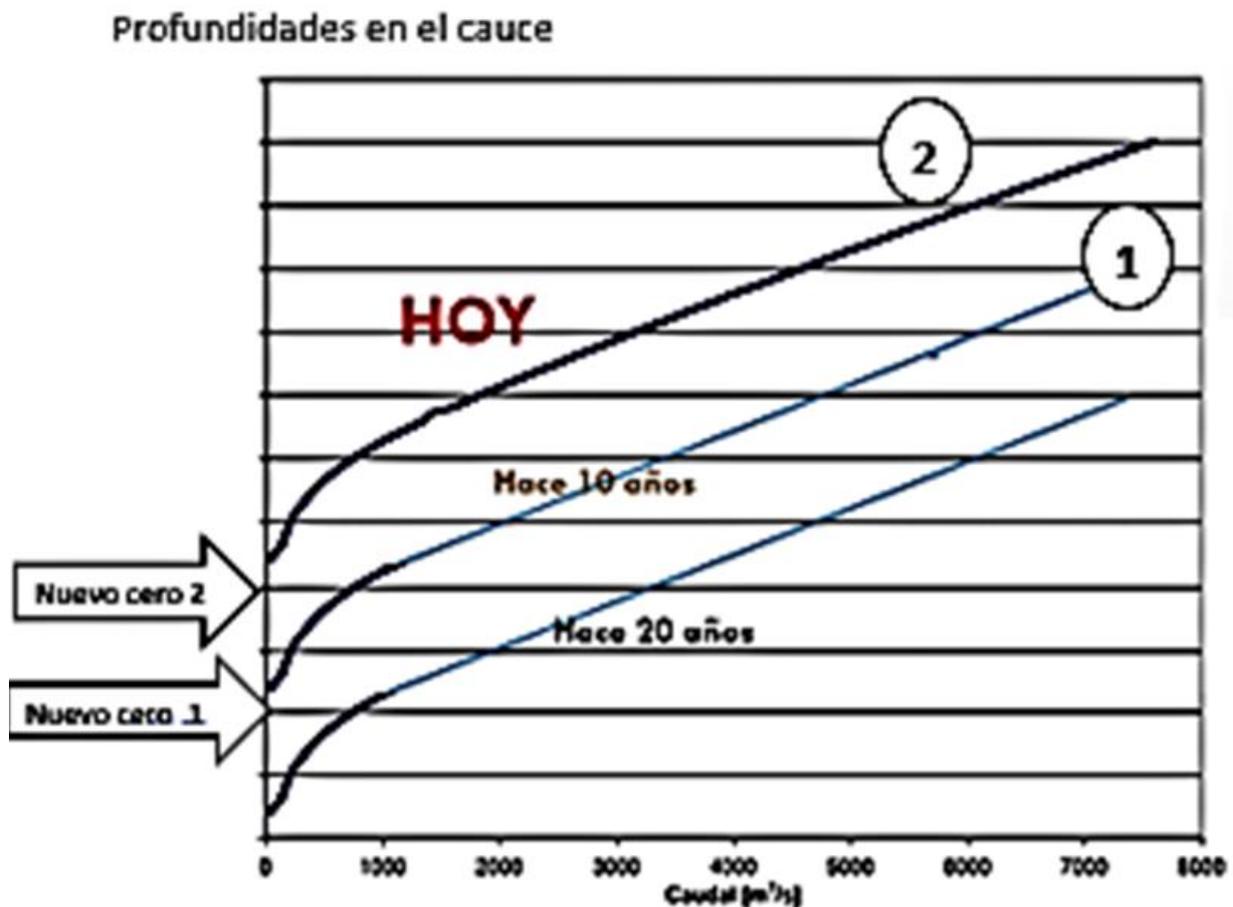


Figura N° 73: Traslación de la relación caudal - profundidad en el cauce debido a elevación del nivel de fondo del río:

Para los mismos caudales, los niveles de agua crecen durante años por deposición de materiales transportados en la parte baja del río: el cero (nivel de fondo) se mueve para arriba.



Figura N° 74: Cuencas de ríos en el departamento de Piura

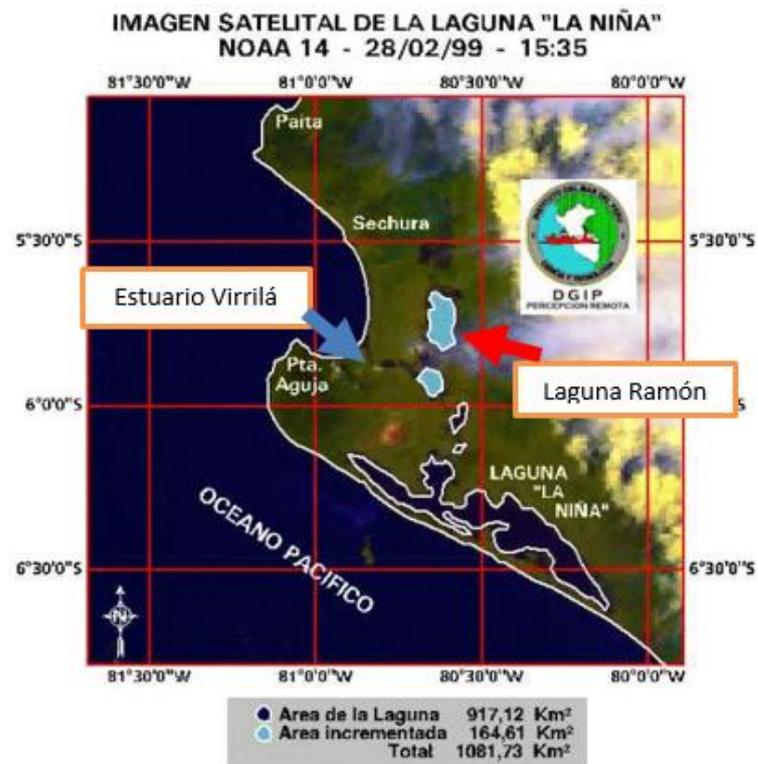


Figura N° 75: El antiguo cauce del río Piura descargaba al mar por la actual ubicación de la ciudad de Sechura. Actualmente (desde hace un centenar

de años) pasa por la laguna Ramón, descargando una parte del agua por el estuario de Virrilá, pero sigue llenando la laguna La Niña.



Figura N° 76: Vista de la calle Las Dalias, Urb. Miraflores, Castilla, Piura durante la inundación del fin de Marzo de 2017



Figura N° 77: Vista de la margen derecha del río Piura entre el cuarto puente y el puente Sánchez Cerro (tomada de un edificio de la margen izquierda)

## Espigones en el sector Turumillo, aguas arriba de la quebrada El Zorro (Chulucanas)

A pesar que este tramo del río está en la parte media del cauce del río Piura, su sinuosidad es importante debido a la debilidad de suelos que atraviesa. Se trata de material aluvial de poca resistencia a la erosión. Consecuentemente, la variación de trazo es constante y significativa. Considerando la tenencia de las tierras en sus orillas es notorio que sin obras de protección y regulación sus propietarios corren el riesgo, año tras año, de sufrir pérdidas.

En varios tramos se ha establecido defensas en forma de espigones. Estos pueden diseñarse con cota de corona fija o variable, reduciéndose progresivamente hacia el centro del cauce. Ambos tipos funcionan bien en cauces de gran anchura. La situación se vuelve muy delicada cuando se intenta incorporar espigones en cauce de poco ancho. En este caso, el espigón, por más cuidado que se ponga en su diseño, se convierte en un obstáculo para la potente corriente principal asociada a caudales que superan el caudal de diseño asumido. Los daños al espigón llegan a ser irrelevantes comparados a la violenta erosión de la ribera adyacente, aguas abajo, tal como se observa en la imagen adjunta:



Figura N° 78: Erosión de la margen derecha aguas abajo de un espigón con (aparentemente) cota de corona fija. El espigón fue erosionado más allá de la parte visible



Figura N° 79: Resto del empotramiento del espigón a la orilla izquierda y partes erosionadas dentro del cauce que en esta parte tiene un ancho significativamente menor que cierta distancia aguas arriba.

## Capitulo IX:

### **Resumen del análisis de causales de problemas detectados en casos ilustrativos presentados**

#### 1/. Obras de menor envergadura

La principal razón de los problemas experimentados con una amplia gama de obras en contacto con agua consiste, como se puede suponer en base a los contenidos anteriores, en diseños deficientes. Si las soluciones conceptuales no provienen de profesionales (o de grupo de profesionales) suficientemente preparados y con experiencias positivas en la materia y en procesos de diseño, lo más probable es que haya problemas.

Muy a menudo se desprecia este conjunto de competencias o la revisión. El seguimiento del proceso de diseño se hace de forma, pero no de fondo. Los revisores son, en la mayoría de los casos, “gente buena” que firma aprobaciones para no perjudicar a los amigos; todo queda en casa.

Lamentablemente, lo que soporta el papel la naturaleza corrige sin piedad. Los diseños y sus revisiones, sujetos además a bajos presupuestos, por ignorancia sobre la importancia que tienen y por limitaciones ficticias e irracionales, los ganan profesionales poco preparados para la tarea.

Muy probablemente una investigación en modelo hidráulico, físico y/o matemático, obliga a saludables modificaciones de diseño dando cierto nivel de garantías de éxito. Un profesional externo (que no pertenece a la entidad formuladora) experimentado y creativo, rápidamente se daría cuenta sobre lo que se debe variar para concebir una obra con mayor probabilidad de funcionamiento satisfactorio desde todo punto de vista.

Notoriamente, la ejecución de la obra también requiere el mismo grado de atención y control que puede conllevar a buenos resultados con inclusive ejecutores de poca experiencia y tamaño.

## 2/. Sistemas hidráulicos mayores

Siguiendo lo dicho en el punto anterior, la principal causa de una eventual falta de éxito total, en caso de obras mayores, tal como se ha comentado al inicio del libro (pág. 13), proviene de la falta de aplicación de las normas y prácticas de procedimientos reglamentadas, por tratarse de inversiones de mayor envergadura, que sí garantizan mayor seriedad y precauciones.

## 3/. Las causales específicas de consultoría más frecuentes de las deficiencias en funcionamiento de obras hidráulicas

Entre muchas, se considera que las nombradas a continuación prevalecen en cuanto a su frecuencia y gravedad:

- Aunque puede parecer increíble para el tiempo en que vivimos, el nivel insuficiente de trabajos de investigaciones básicas de campo y laboratorio muy probablemente se lleva la primicia de faltas en consultoría. Estas deben comprender también un análisis de futuros escenarios disponiendo de bases de datos recopilados en campo. No se trata solamente de recopilar datos de topografía, geología, mecánica

de suelos, hidrología, hidráulica, sino también datos históricos y de intervenciones humanas pasadas.

- Alteraciones posibles futuras de condiciones de flujo de agua y de transporte de sedimentos respecto a las tomadas en cuenta durante la fase de diseño para obras existentes y/o por diseñar. En este rubro, están los cambios en el sistema hidráulico debido a la física natural de procesos morfológicos y la existencia y/o introducción de obras hidráulicas, aguas arriba o aguas abajo, no contempladas en el escenario del proyecto.
- Indudablemente, la falta de experticia de los proyectistas y revisores (sin hablar de la participación en estos procesos de individuos que solo buscan su mayor provecho material a cualquier precio) es otro gran rubro que afecta a multitud de obras menores que, sumadas, representan presupuestos muy importantes.
- Finalmente, hay un grupo diverso de actitudes reñidas con normas y exitosas prácticas en consultoría que caen en el ámbito penal.

#### 4/. Conclusiones generales

¿Por qué algunas obras hidráulicas llegan a ser un serio dolor de cabeza de los usuarios?

La respuesta tiene que ver con deficiencias asociadas en: la planificación, el diseño, la ejecución y el mantenimiento.

Los círculos cerrados, de poca transparencia, de grupos de poder y argollas que se forman alrededor, causan que las calidades de todas las fases de las actividades involucradas sean desvestidas de suficiente grado de competitividad imponiendo un orden que, muy a menudo, no tiene nada que ver con óptimos resultados.

Los colegios profesionales todavía exigen prácticamente solo un pago para dar carta abierta a permisos de actuar con legalidad en la profesión, sin casi ninguna influencia sobre las políticas de formación académica

precedente. Los procedimientos de control son, todavía, solo compromisos que se realizan formalmente sin el peso real que deberían implicar.

En el país, todo el mundo, sin duda alguna, sabe a quién consultar en el caso de una dolencia o cuando de salud se trata. En ingenierías, los participantes en el nacimiento y la vida de una obra hidráulica son, a menudo, profesionales invasores del campo especializado por falta de criterio y por intereses mezquinos.

Capitulo X:

### **Casos de algunas obras de ámbito internacional y de amplia difusión en publicaciones**

1/. Presas y órganos evacuadores adjuntos

(Según (38)) Las principales causas de fallas en las obras hidráulicas serían:

- Cambio en uso de tierra. Se refiere a la deforestación principalmente. Este factor el autor lo observa en el caso del proyecto Olmos – Alto Piura, porque los datos históricos hidrológicos no son válidos considerando la permanente deforestación. La acelerada urbanización cae en mismo rubro.
- Cambio de características del clima. Es un proceso en curso que debe ser reconocido como la principal variable, así como la necesidad de adaptarse. Los usuales criterios de periodos de retorno deben ser analizados y variados eventualmente.
- Diseños desactualizados en tiempo, tecnología y desarrollo de ocupación de tierras.
- Falta de mantenimiento y de fondos para ello. Algunas presas ya no tienen carácter de útiles y deben ser removidas.

#### Colapso de la presa Teton, río Teton, Idaho 05/06/1976

El colapso de la presa Teton (36) fue uno de los más desastrosos. Ocurrió por sufosión del suelo base de la presa de tierra de casi 93 m de altura y 945m de longitud en la corona. Posteriores investigaciones comprobaron

que la falla se produjo debido a varias deficiencias, entre las cuales la falta de comunicación entre el diseñador y los constructores fue la primera.

Los síntomas ocurrieron cuando, a pesar de no haberse culminado con el aliviadero auxiliar de la central hidroeléctrica a pie de presa, ni con los órganos auxiliares de bajo nivel destinados al vaciado del reservorio en casos de emergencia, se decidió llenar el reservorio. En muy poco tiempo, imprevisiblemente, el reservorio fue llenado. Dos días antes del colapso se registró una filtración cerca al estribo derecho de la presa.

La filtración de  $\sim 7$  l/s fue de agua clara. Durante el llenado del reservorio no se implementó vigilancia de 24 h. El día del colapso, la filtración fue casi de 900 l/s y pronto salió agua turbia formándose un cráter en el talud de presa junto al estribo derecho.

El uso del evacuador auxiliar y las salidas bajas hubiera, al menos, reducido la cantidad de agua que fue liberada abruptamente, después de la falla del terraplén junto al estribo derecho, hacia el valle aguas abajo; como se ilustra en la imagen:



Figura N° 80: Vista del violento vaciado del reservorio por la brecha abierta en el terraplén después de su colapso (37)

Como causales directas de lo sucedido se mencionan:

- Inadecuado tratamiento de la cimentación: contacto con el suelo base caracterizado como muy permeable, circunstancia que fue despreciada en los análisis y el diseño.

- La erosión interna de material impermeable, que llenaba la zanja de contacto en la base, condujo a la fractura del núcleo impermeable.
- La impermeabilización de la base, mediante inyecciones, no fue conducida de manera coherente; dándose insuficiencia e inconsistencia en este tratamiento que, además, fue suspendido al llegar a cierta altura.
- Las fisuras de la roca del estribo derecho no fueron selladas adecuadamente.
- No hubo revisión externa del proyecto antes del inicio de la construcción.
- Tampoco hubo medidas adicionales contra filtraciones, siendo únicamente aplicadas inyecciones y zanja de cimentación del núcleo impermeable.

## 2/. Puentes

### Colapso del puente Hintze Ribeiro, de Portugal

En la fecha 04/03/2001, durante una tormenta con inusual intensidad de lluvia, cayó el puente Hintze Ribeiro sobre el río Duro. En el mapa (39) se aprecia su ubicación:



Figura N° 81: Ubicación del puente (tomado de artículo - 39)

El puente fue construido el año 1886 y su colapso se asocia con el acelerado asentamiento de un pilar:

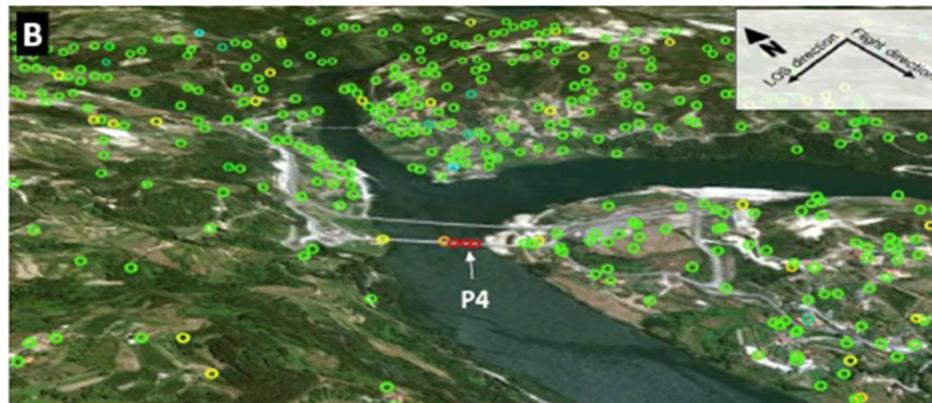


Figura N°82: Ubicación del pilar en la margen izquierda (39)

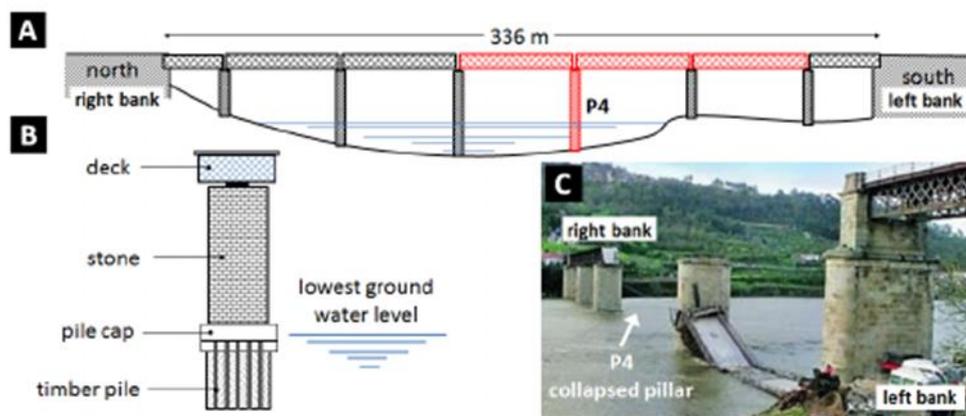


Figura N° 83: Vista del puente desde aguas abajo (39)

La caída del puente coincidió con la (la) máxima intensidad de lluvia en la zona, caudales muy elevados en el río Duro y consecuentes descargas del reservorio Crestuma kilómetros aguas arriba.

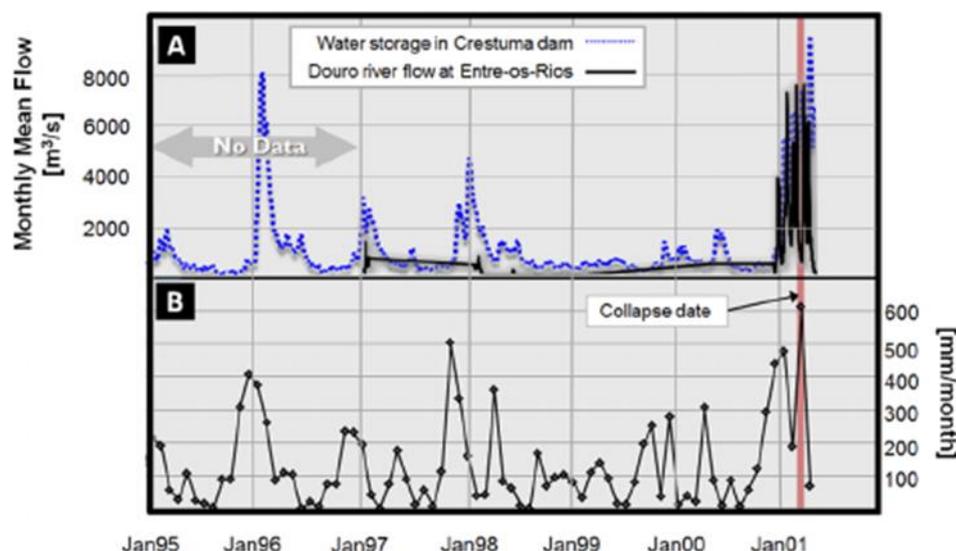


Figura N° 84: Gráficos que relacionan en el tiempo las circunstancias hidrológicas en el momento del colapso del puente

Es indudable que ocurrió socavación, pero según (40) fue parcialmente consecuencia de años de explotación ilegal de arena en las cercanías. Este argumento tiene sentido ya que habiéndose excavado aguas abajo profundizando el cauce, en el momento del aumento de caudales pudo producirse una erosión retrógrada potenciando la socavación.

Este ejemplo señala que, a veces, cosas inocentes a primera vista, pueden acarrear graves consecuencias.

### 3/. Protección contra inundaciones

#### Huracán Katrina y colapso de defensas contra inundación de Nueva Orleans

Citato Wikipedia (42):

“El fallo de las protecciones de Nueva Orleans es considerado como el mayor desastre de ingeniería civil de la historia de Estados Unidos y dio lugar a una demanda contra el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que diseñó y construyó el sistema de diques, en virtud de la Flood Control Act de 1965. El Cuerpo de Ingenieros fue encontrado responsable del fallo de los diques y de las inundaciones por el juez Stanwood Duval en enero de 2008, pero al tratarse de una agencia federal no pudo ser declarada responsable económica debido a la inmunidad establecida por la Flood Control Act de 1928. Del mismo modo, se llevó a cabo una investigación sobre la actuación de los gobiernos federal, estatal y local, lo que desembocó en la dimisión de Michael D. Brown, director de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA, por sus siglas inglés), y de Eddie Compass, superintendente del Departamento de Policía de Nueva Orleans.”

EL desastre ocurrió el 29/08/2005. Según El Periódico de Aragón (41):

“Los expertos aseguran que tienen pruebas de que el agua no alcanzó la altura suficiente para sobrepasar los diques de la calle 17 y la avenida Londres, cuya rotura inundó el resto de Nueva Orleans. Esas pruebas consisten en marcas de agua que se encuentran 1,2 metros por debajo del

límite superior de los muros de contención, así como la ausencia de señales de barro o erosión en las bases en las que se asientan los diques.”

Entonces, lo más probable es que una negligencia en la construcción del dique fue la responsable. \*

\*... El análisis aquí presente no contiene todos los detalles que facilitan comprensión, pero suministra conceptos relevantes y suficientes.

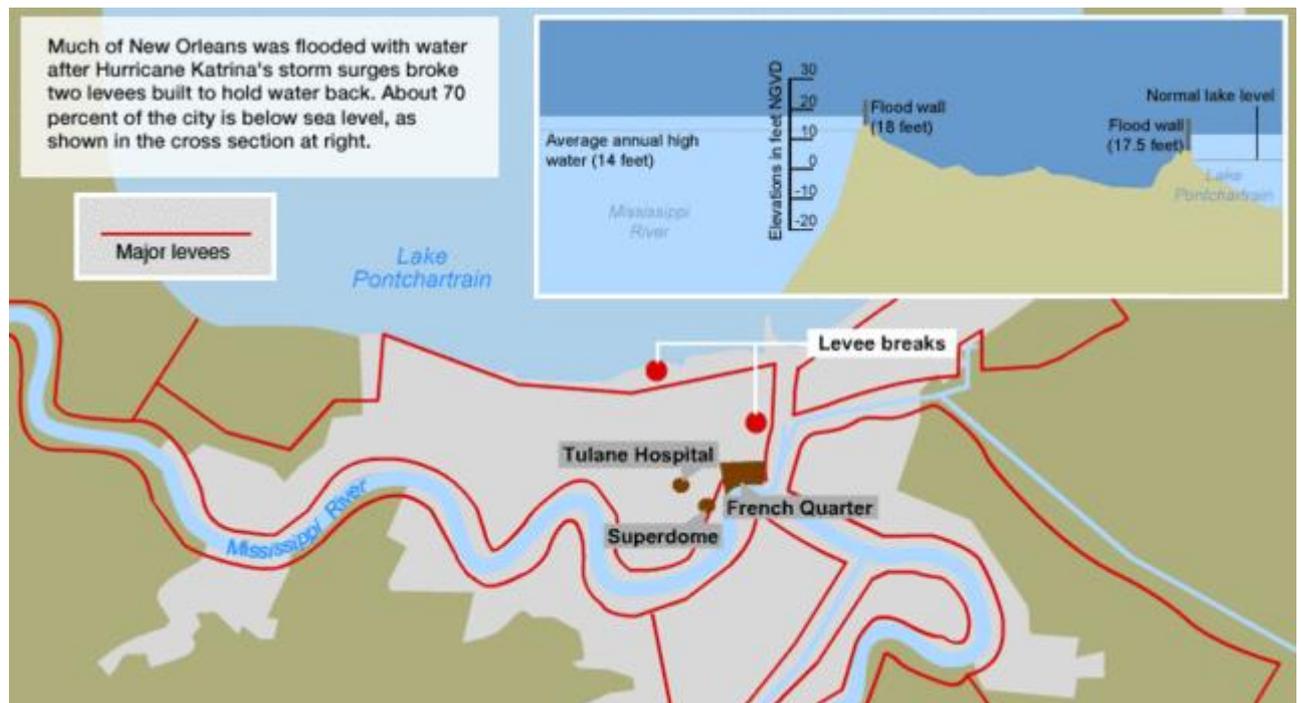


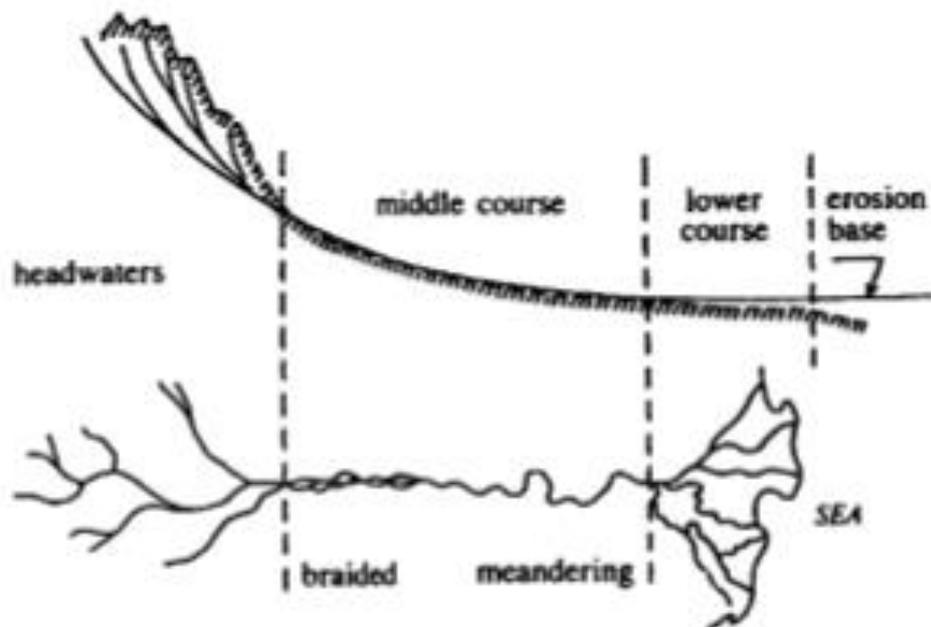
Figura N° 85: Mapa de diques de protección, puntos rojos de roturas y sección que demuestra la posición de la ciudad respecto a los alrededores; protegida con diques (Flood Wall) – (43)

#### 4/. Lecciones y algunos consejos para los consultores

El concepto más importante a tener en cuenta es que el río representa un sistema, un organismo que tiene sus leyes de sobrevivencia y desarrollo. El concepto moderno de convivencia humana con los ríos es no inmiscuirse en los procesos de cambio condicionados por el clima, hidrología, geomorfología, ecología y otras posibles influencias netamente naturales. Debemos dejar que el desarrollo ocurra de manera libre, sin influencia androgena en la máxima medida posible. Aun hoy existen personas que pretenden controlar todo porque “el ser humano somete a la naturaleza a

sus necesidades”. Hoy estamos, respecto a esta posición, más lejos que nunca en la historia de la civilización humana. Ha habido medios culturales en diferentes partes del mundo y en diferentes épocas históricas que supieron convivir con los ecosistemas sin sacrificarlos de manera imprudente. Los conocimientos de interacción de obras con el medio son mucho mejores, permitiéndonos prever y mitigar las consecuencias perjudiciales para los ecosistemas.

Para proceder así es esencial conocer las leyes básicas de la morfología ribereña; definidas simplificadaamente en el croquis de De Vries (26)



**Fig. 8.1 Schematized river (after de Vries, 1985)**

Figura N° 86: Esquema de perfil longitudinal de un cauce (26)

En este esquema, lo característico es que en la parte alta (headwaters) ocurre erosión, en la parte mediana (middle course) se mantiene un relativo equilibrio y en la parte baja (lower course) ocurre constante deposición. A la vez, tal como se observa en el gráfico, en la parte media se dan corrientes trenzadas (braided) y meandros formándose en contacto con el mar una delta de la parte baja.

Asimismo, existe un exceso de potencial erosivo en la parte alta, equilibrándose el potencial de transporte con el transporte real en la parte

media y la deficiencia del potencial para transportar sedimentos en la parte baja, que resulta en deposición de los sedimentos traídos hasta este tramo.

Cualquier alteración de la relación de Q/G, donde “Q” es caudal y “G” es transporte de sedimentos, implica alteración del potencial de transporte de la corriente y debe (de) tomarse en cuenta.

Desde hace más de 60 años se estila realizar un análisis cualitativo, basándose en el análisis aproximado de lo que se espera pasaría si ocurre un cambio del régimen de flujo:

Estado natural del río	Respuesta del sistema fluvial después de la construcción de una obra que reduce el caudal natural aguas debajo de esta “Q <sup>(-)</sup> ”
<p><b>Erosión</b>  <math>Q * S^{(-)} \sim G^{(+)} * d_{50}</math></p>	<p><math>Q^{(-)} * S^{(-+)} \sim G^{(+)} * d_{50}</math>                      Caudal se reduce, la erosión existente también y el río se aproxima al régimen</p>
<p><b>Régimen</b>  <math>Q * S \sim G * d_{50}</math></p>	<p><math>Q^{(-)} * S^{(+)} \sim G^{(-)} * d_{50}</math>                      Caudal reducido causará menor transporte de sedimentos y deposición</p>
<p><b>Deposición</b>  <math>Q * S^{(+)} \sim G^{(-)} * d_{50}</math></p>	<p><math>Q^{(-)} * S^{(++)} \sim G^{(-)} * d_{50}</math>                      Reducción del caudal fortalecerá negativa tendencia natural</p>

Por lo tanto, en la parte alta, el realizar una captación y derivación de agua, puede resultar en menor erosión y hasta deposición si la captación implica remanso aguas arriba.

Se recomienda solicitar un estudio especializado por profesionales competentes en el tema, o por lo menos, asesoramiento antes de concebir la solución.

Otros elementos de juicio a ser tomados en cuenta para el diseño y construcción con la finalidad de prevenir problemas en el funcionamiento y vida útil de la obra son los siguientes (38 en parte cita literal):

- “Cambio en uso de tierra”: la desforestación, urbanización y semejantes cambios en cuencas.
- “Cambio de características del clima”: un proceso en curso (cual) debe ser reconocido como la variable, así como la necesidad de adaptarse. Los usuales criterios de periodos de retorno deben ser analizados y variados eventualmente.
- “Diseños desactualizados “: diseños de las obras concluidos décadas atrás se deben actualizar en procedimientos, materiales y precios.
- “Falta de mantenimiento y de fondos”: una situación presente inclusive en países de avanzado desarrollo.

Cada nueva obra en un ambiente ribereño, acuático, influirá de alguna manera sobre el comportamiento del medio y debe analizarse como esto eventualmente afectará las obras existentes, para introducir medidas de su consolidación en nuevas condiciones.

## Referencias Bibliográficas:

1. “Introducción a la ingeniería”, Kirk D. Hagen, Weber State University, Pearson Educación, México, 2009
2. “Informes periciales en edificación”, Juan Felipe Pons Achel, Publicaciones de la Universitat Jaume I, España, 2011
3. “Introducción en ingeniería Civil Forense”, Luis Caballero, Dpto. de Ciencia de Materiales, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2011
4. “Ingeniería Forense”, Eduardo A Fierro, Bertero Fierro Perry Engineers Inc., México, 2013
5. MEF brinda instrumentos para evaluación posterior de los proyectos de inversión pública, Nota de prensa del Gobierno del Perú, <https://www.mef.gob.pe/index.php?option=com...view>
6. “Pautas Generales de Evaluación Ex Post”, MEF, VEF, DGPI, 2012, [https://www.mef.gob.pe/.../inv.../PAUTAS\\_GENERALES\\_EVAL\\_EX\\_POST.pdf](https://www.mef.gob.pe/.../inv.../PAUTAS_GENERALES_EVAL_EX_POST.pdf)
7. EL SISTEMA NACIONAL DE INVERSIÓN PÚBLICA. UN ANÁLISIS CRÍTICO, Walter Andía V., 2004, [sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol7\\_n1/pdf/sistema.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/vol7_n1/pdf/sistema.pdf)
8. “El Peruano”, Decreto Legislativo N° 1252,
9. “Patología y errores de diseño más frecuentes en conducciones de agua”, Víctor Flores Casillas \*
10. Autoridad Nacional del Agua - ANA  
[www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/3.-plan\\_de\\_gestion\\_ica](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/3.-plan_de_gestion_ica)
11. Charla de Ing. Julio Chávez Cárdenas “Problemática del agua en la cuenca del río Ica”, 2012; Slideshare
12. “Plan de Gestión de Recursos Hídricos Cuenca Chira Piura” – ANA, 2013, [www.ana.gob.pe/.../plan\\_de\\_gestion\\_de\\_recursos\\_hidricos\\_de\\_la\\_cuenca\\_chira-piura](http://www.ana.gob.pe/.../plan_de_gestion_de_recursos_hidricos_de_la_cuenca_chira-piura)
13. “Inventario de Fuentes de Agua Subterránea en el valle de Medio y Bajo Piura” INRENA, 2004, (en 1980 el Ministerio de Agricultura

- realizo estudio \* “Inventario y Evaluación Nacional de Aguas Subterráneas en la cuenca del Río Piura”)
14. “Fallas presentadas en algunas obras subterráneas y cimentaciones”, Arq. Adriana Chávez Gandarilla, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 2014
  15. “Hidráulica aplicada al diseño de obras”, Horacio Mery M., Ril Editores, 2013
  16. “Fallas de las obras hidráulicas – El desastre de Gleno”, Blog sobre inundaciones y ambiente,
  17. ASCE Smart Brief de 28 de febrero de 2017
  18. Charla de Ing. M. Sc. Zivko Gencel “¿Como diseñar mejores obras hidráulicas?, 50 Aniversario del CIP - Consejo Departamental Lambayeque, 2016, Chiclayo
  19. “Hidrología para Ingeniería”, Germán Monsalve Sáenz, 2ª edición, Editorial Alfaomega, Colombia, 1999.
  20. “Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje”. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Lima, 2008
  21. Charla de Ing. M.Sc. Zivko Gencel “El Fenómeno del Niño” parte 2, año 2004
  22. “Diseño mejorado de alcantarillas de drenaje pluvial de carreteras” Ing. M.Sc. Zivko Gencel, IAHR, XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012

23. “ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO DE ALGUNOS PUENTES EN-COLOMBIA”, Edgar E. Muñoz Diaz, Facultad de Ingeniería, Pontifica Universidad Javeriana, 2005
24. “Ingeniería de Ríos”, Juan Pedro Martin Vide, Alfaomega Editores, Edicions UPC, España, 2002
25. “Are Dams Forever?”, Jeff Lyng; Kristin Field; Denali Lander; Denise W. Carlson, TEACHENGINEERING, College of Engineering, University of Colorado Boulder Colorado EE. UU, 2008
26. “Hydraulic Structures”, P. Novak, A.I.B. Moffat and C. Nalluri School of Civil Engineering and Geosciences, University of Newcastle upon Tyne, UK and R. Narayanan Formerly Department of Civil and Structural Engineering, UMIST, University of Manchester, UK, , Taylor&Francis, New York, 2007
27. “Presas que han colapsado en el mundo”, PP presentación encontrada en Internet, 2015, sin más datos
28. “DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO DE OPERACIÓN DE LAS ENTIDADES PRESTADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO RESPECTO A LA INFRAESTRUCTURA DE LAS PTAR”, Sunass, Perú, 2015
29. “Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial”, presentada ayer por el OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) Perú 2013-2014 .
30. “La restauración de ríos y lagos.” Zambrano, Luis. Ciencias 72, octubre-diciembre, 36-43. [En línea] (2003)
31. “La Industria de la Electricidad en el Perú”, Osinergmin, 2016

32. “Determinación del impacto erosivo en el litoral por la construcción del puerto Salaverry y el molo Retenedor de arena”, Tesis de Post grado H.R. Maldonado Contreras, UNI, Lima 2009.
33. “Canales navegables en Europa”, <http://www.lasprovincias.es/planes/201510/08/visita-diferente-interior-francia-20151008202908.html>
34. “Los diez canales más largos del mundo”, <https://sectormaritimio.es/los-diez-canales-mas-largos-del-mundo>
35. “Mejoramiento de las condiciones de navegabilidad de los ríos Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas, MTC, 2007
36. “Case Study: Teton Dam (Idaho, 1976)”, Association of State Dams Safety Officials 1984,  
<http://damfailures.org/case-study/teton-dam-idaho-1976/>
- 37.” Why Quicksand is a Nightmare for Civil Engineers”, You Tube Professional Engineers, 01/10/2017,  
<https://interestingengineering.com/why-quicksand-is-a-nightmare...>
38. “4 Hidden Causes of Dam Failures”, National Geographic, 07/10/2015,  
[news.nationalgeographic.com/.../151007-dam-failures-south-caro](https://news.nationalgeographic.com/.../151007-dam-failures-south-caro)
39. “Multi-temporal SAR interferometry reveals acceleration of bridge sinking before collapse” Article – Mar 2013 – Natural hazards and earth system sciences
40. “Devastating desasters -The Hintze Ribeiro Bridge Disaster – 2001”,  
<http://devastatingdisasters.com/category/engineering/>,

19/06/2015

41. “Los diques de Nueva Orleans cedieron por fallos de diseño”, El Periódico de Aragón, IDOYA NOAIN **IDOYA NOAIN** 22/09/2005

42. “Huracán Katrina”, Wikipedia

[https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n\\_Katrina](https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Katrina)

43. “Hurricane Katrina”, 1 Oct. 2005 00:11:52 UTC,

[www.hurricane-katrina.org](http://www.hurricane-katrina.org);

<http://web.archive.org/web/20051001001152/www.hurricane-katrina.org/>