

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.-

“...el marco teórico ayuda a precisar y organizar los elementos contenidos en la descripción del problema y su contexto, de tal forma que puedan ser aprendidos en acciones concretas”¹.

Por eso mismo, en el presente trabajo de investigación con los marcos que planteamos, nos aproximaremos a detallar la problemática de la investigación científica, las connotaciones del proceso investigativo, tratando de señalar sus bases esenciales, para recién abordar la investigación.

Asimismo, le asignamos una gran importancia al Marco Teórico, porque a partir de él extraemos: “...los elementos teóricos de la revisión de la literatura, estudios y teorías pertinentes al tema de investigación, que constituyen la base de la descripción y explicación de las hipótesis. Los elementos de la hipótesis, también deben expresarse, la dinámica de sus relaciones en forma descriptiva o sistemática. Los supuestos tienen que ser comprobados por la observación demostrable, de esta forma el problema se vincula a una estructura teórica amplia y abre caminos para investigaciones ulteriores”².

¹ Tamayo “El proceso de la investigación científica”, Ed. LIMUSA, España, 1981.

² Pineda “Metodología de la Investigación, Manual para el desarrollo de personal de salud OPS”, Segunda edición 1994.

1.2. El problema.-

1.2.1. Planteamiento del problema.-

Se planifican y se construyen obras de encauce y contención obviando muchas características físicas propias de cada sector, como también se evidencia un desconocimiento total de la agresividad del agua que afecta a cualquier tipo de estructuras, pudo evidenciarse el daño producido a aquellas conformadas por gaviones denominadas flexibles y debido a que la determinación de la agresividad no está normado, se incurre en errores de diseño por desconocimiento de las propiedades corrosivas del agua dando como resultado estructuras que no cumplen su ciclo de vida proyectado debido a un colapso prematuro o sufren daño irreparable en su estabilidad y estructura, causando un daño económico al estado como a la población civil por que supone un riesgo constante para la gente que vive y cultiva en la cercanía al río.

Con estas consideraciones se identificó un sector en riesgo ubicado en la comunidad de Calamuchita y es una preocupación constante para los comunarios debido a que el río durante el periodo de lluvia, presenta un caudal superficial considerable, y se tiene la experiencia que el río Camacho al tener una cuenca grande presenta caudales de crecida considerables, tales caudales ponen a prueba la resistencia de varios tipos de estructuras de gavión construidas en las márgenes de su lecho y a su vez colapsa gran parte de estas, derivándose en problemas de distinto orden desde el social al legal, dejando sectores en riesgo, como el que se identificó específicamente en la zona de El Altillo.

Debido a los factores antes mencionados es necesario determinar estructuras flexibles de contención adecuadas, mediante la aplicación de estudios y comparaciones técnicas del estado de las estructuras ya emplazadas y así determinar la estructura ideal a fin de proteger el sector en riesgo identificado en la comunidad.

1.2.2. Formulación del problema.-

- ¿Cómo determinar estructuras flexibles de contención adecuadas, para dar una solución al sector en constante riesgo en las márgenes del río Camacho (El Altillo, de la comunidad de Calamuchita)?

Para determinar las estructuras flexibles de contención, es necesaria la realización de estudios y comparaciones técnicas de obras existentes, desglosando y analizando cada uno de ellos por separado, para llegar a dar la solución más adecuada.

1.2.3. Sistematización del problema.-

- ¿Qué tipo de estructuras flexibles de contención serán analizadas?
- ¿Qué método se usará para realizar las comparaciones técnicas?
- ¿De qué manera se realizará la aplicación de los estudios?
- ¿Qué tipo elementos y relaciones será necesario establecer para hallar la estructura más adecuada?
- ¿De qué manera este análisis contribuirá a la decisión final para la determinación de la estructura más adecuada?

1.3. Objetivos.-

1.3.1. Objetivo general.-

Determinar la estructura flexible de gavión más adecuada para este sector en riesgo, y así contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de la comunidad de Calamuchita, protegiendo los terrenos de posibles inundaciones y desbordes.

1.3.2. Objetivos específicos.-

- Diagnosticar los estudios que serán necesarios realizar para llevar adelante el análisis.
- Analizar el comportamiento y deformaciones de las diferentes estructuras de gavión emplazadas.
- Proponer la implementación de la estructura de gavión más adecuada considerando los estudios realizados para su uso como la opción más indicada.

1.4. Justificación.-

1.4.1. Justificación teórica.-

La investigación propuesta busca, mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos del comportamiento de diferentes tipos de estructuras flexibles; de contención y de la información técnica disponible de proyectos ejecutados, en estudio y en ejecución, realizar un análisis mediante los estudios necesarios y comparaciones técnicas del estado de gaviones existentes, para así proponer técnicamente la estructura de gavión más adecuada para su emplazamiento en el lugar determinado.

1.4.2. Justificación metodológica.-

Para lograr el cumplimiento de los objetivos de estudio, se acude al empleo de técnicas de investigación como el instrumento para definir los estudios necesarios en los que se basarán sus comparaciones técnicas. Estos estudios son:

1.4.2.1. Levantamiento topográfico.-

A detalle en una franja longitudinal de 650 m. que tiene por extremo ambas orillas a lo largo de toda la extensión mencionada, previamente identificada como crítica.

Equipo necesario:

- Estación total Sokkia 630 RK.
- Prismas.
- GPS Garmin (Map 76Csx).
- Radio Handy Motorola MR35OR.

1.4.2.2. Estudio hidrológico.-

Con la recolección de información necesaria y seguido del respectivo tratamiento y análisis, se calcula por varios métodos los caudales máximos de crecida, para distintos periodos de retorno. Con esta información se diseñan las obras de contención para el sector en estudio con sus respectivas verificaciones des estabilidad que garanticen el correcto funcionamiento de la estructura durante su vida útil proyectada.

1.4.2.3. Estudio Hidráulico.-

Partiendo de los perfiles transversales producto del levantamiento topográfico se calcula el nivel máximo de crecidas por métodos numéricos y se comprueba con software especializado, a su vez con los caudales máximos correspondientes al periodo de diseño

considerado se puede estimar el riesgo de inundación en la zona en estudio, producto del análisis de la curva de descarga característica.

1.4.2.4. Estudio de la erosión y transporte de sedimentos.-

Se realizan las consideraciones necesarias sobre el estudio de la dinámica de los sedimentos en la cuenca del río Camacho. Además del análisis de las condiciones y requerimientos para la cuantificación correcta de los respectivos caudales sólidos de fondo y en suspensión.

1.4.2.5. Estudio de agresividad del agua.-

Ciertas aguas naturales pueden corroer metales, calizas, cemento y productos derivados (materiales de construcción, hormigones, etc.) esta corrosión más particularmente llamada agresividad, depende principalmente de los siguientes factores: anhídrido carbónico libre, alcalinidad y pH. Numerosos estudios tratan el problema de la agresividad de las aguas naturales de cursos de importancia estratégica. En el caso particular del río Camacho, no existen referencias de que se haya hecho este estudio específico para ningún sector de la cuenca, aguas arriba del punto en estudio, el cual identificamos como necesario e imprescindible en esta investigación debido a que el análisis de laboratorio de una muestra tomada en la época de estiaje, debido a que es cuando existe la mayor concentración de las propiedades físicas y químicas concentradas que demuestran el grado de corrosión existente en el sector en estudio en un punto crítico del año hidrológico.

Considerando que la base de esta investigación reside en los estudios previamente mencionados, necesarios para la realización de los diseños, y que por medio del análisis de estos se llevan a cabo las comparaciones técnicas necesarias que ameritan la investigación.

1.4.3. Justificación práctica.-

El resultado de la investigación nos permite encontrar una solución adecuada para disminuir las zonas en riesgo de inundación y desborde, y así proteger la principal actividad económica de los agricultores de la comunidad de Calamuchita.

1.5. Hipótesis.-

1.5.1. Hipótesis de primer grado.-

Las zonas en riesgo se ven afectadas por las crecidas durante la época de lluvias en la comunidad de Calamuchita sector El Altillo.

1.5.2. Hipótesis de segundo grado.-

El análisis de la estructura de gavión más adecuada permitirá dar una solución satisfactoria a los comunarios que poseen terrenos en las zonas de riesgo.

1.5.3. Hipótesis de tercer grado.-

Para determinar una estructura de gavión adecuada que proporcione una solución satisfactoria se hace necesario la realización de estudios, análisis y comparaciones técnicas cuyos aspectos sean los más relevantes, desde varios puntos de vista y debidamente respaldados, justificados con casos prácticos y comprobables.

1.6. Marcos de referencia.-

1.6.1. Marco teórico.-

Dentro de las obras más comunes en corrientes naturales tenemos las obras marginales de encauzamiento, que son obras que se construyen para encauzar una corriente natural hacia una estructura de paso, por ejemplo un puente, alcantarilla, etc. Deben tener transiciones de entrada y salida. En el diseño debe considerarse que estas obras de encauzamiento producen un aumento en la velocidad del agua con el consiguiente incremento en la socavación del lecho.

Acorazamiento del fondo.- Consisten en refuerzo del lecho con material de tamaño adecuado, debidamente asegurado, que no pueda ser transportado como carga de fondo. Algunas veces la dinámica del río produce tramos acorazados en forma natural. El fondo acorazado es un control de la geometría del cauce.

Protección contra las inundaciones.- Son obras que controlan el nivel máximo esperado dentro de la llanura de inundación. Pueden ser embalses reguladores, canales adicionales, dragados y limpieza de cauces. Estas obras pueden ser efectivas para el área particular que se va a defender, pero cambian el régimen natural del flujo y tienen efectos sobre áreas aledañas, los cuales deben ser analizados antes de construir las obras.

Obras longitudinales de protección de márgenes.- Son muros o revestimientos, suficientemente resistentes a las fuerzas desarrolladas por el agua. En algunos casos también deben diseñarse como muros de contención. Pueden fallar por mala cimentación, volcamiento y deslizamiento.

Los materiales de uso frecuente en este tipo de obras son los siguientes:

- Concreto: ciclópeo, simple o reforzado.
- Gaviones, colchonetas.
- Piedra suelta, piedra pegada.
- Tablestacas metálicas o de madera.
- Pilotes metálicos, de concreto o de madera.
- Bolsacretos, sacos de suelo-cemento, sacos de arena.
- Elementos prefabricados de concreto: Bloques, hexápodos, etc.

Las obras que serán estudiadas en el presente trabajo son las longitudinales de protección de márgenes compuestas por muros de gavión metálico y colchonetas.

Se debe considerar que el diseño de obras flexibles combina varios estudios, como ser los Hidrológicos e Hidráulicos, ambos de vital importancia debido a que consideran y suministran la información básica que permite determinar las condiciones y la magnitud de las fuerzas que van a actuar sobre las obras que se proyecten.

1.6.2. Marco conceptual.-

El marco conceptual deriva fundamentalmente de la hipótesis por lo cual se tiene los siguientes conceptos básicos de acuerdo a la definición de los diferentes autores.

Para el presente trabajo se considera necesario definir los siguientes conceptos:

1.6.2.1. Concepto de muros flexibles:

Formados por materiales deformables y que pueden, dentro de límites aceptables, adaptarse a las deformaciones y movimientos del terreno, sin perder su estabilidad y eficiencia (ej.: gaviones, bloques articulados, etc.).

La actual velocidad del desarrollo urbano y vial exige de la ingeniería, con frecuencia, soluciones modernas y eficientes para la contención de taludes y laderas. Estas soluciones deben conjugar alta performance de trabajo, simplicidad constructiva y costo atractivo, pues, caso contrario, se transforman en un factor obstaculizador para la viabilización de proyectos.

1.6.2.2. Concepto de muros de gavión:

Dentro de la clasificación de las estructuras de encauce y contención denominadas flexibles se encuentran los gaviones, que pueden ser de distintos tipos de alambre. Estas estructuras son las más utilizadas en la cuenca del sector en estudio. Son muros mucho más fiables y seguros que los de escollera ya que, con estos, se pueden realizar cálculos de estabilidad y, una vez montados, todo el muro funciona de forma monolítica.

Los muros de gaviones están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos.

Las estructuras de gaviones son muy económicas ya que sólo a la malla y a la mano de obra puede atribuírsele un precio, ya que las piedras que se utilizan en su construcción abundan, además su puesta en obra es extremadamente sencilla y económica y no requiere mano de obra especializada. Los gaviones son altamente permeables y actúan como drenes permitiendo el escurrimiento de las aguas de filtración, eliminando de este modo los efectos de la presión hidrostática.

La malla metálica posee elevada resistencia mecánica a tracción y la doble torsión impide que esta se desarme ante el cortado de un

alambre, asegurando que en cada cruce se tenga un punto fijo acotando, de este modo, las deformaciones posibles. Así pues, también las estructuras de gaviones poseen una elevada resistencia debido al gran peso de la obra, la fricción entre las piedras y la resistencia a la compresión de éstas, además los gaviones se sujetan entre sí, lo que produce como resultado una resistencia mayor del conjunto que de la suma de los gaviones por separado.

Los gaviones se integran armónicamente en el paisaje, permitiendo el desarrollo de vegetación sin que esto traiga inconvenientes. Por la naturaleza de los materiales que se emplean en los gaviones, estos permiten su construcción de manera manual o mecanizada en cualquier condición climática, ya sea en presencia de agua o en lugares de difícil acceso. Su construcción es rápida y entra en funcionamiento inmediatamente después de construido, del mismo modo, permite su ejecución por etapas y una rápida reparación si se produjera algún tipo de falla.

1.6.2.3. Concepto de gavión:

En ingeniería son contenedores o cajas de malla de alambre llenas de piedras. Se colocan y se arman vacías en la obra rellenándose con piedras del lugar. Se usan para la construcción de revestimientos de márgenes, muros marginales, espigones y diques, los gaviones:

- Evitan erosiones, transporte de materiales y derrumbamientos de márgenes
- Controlan crecientes y protegen valles y poblaciones contra inundaciones
- Como las operaciones de armado y relleno de piedras no requiere ninguna pericia, utilizando gaviones se pueden

ejecutar obras que de otro modo requerirían mucho más tiempo y operarios especializados.

1.6.2.4. Concepto de gavión saco:

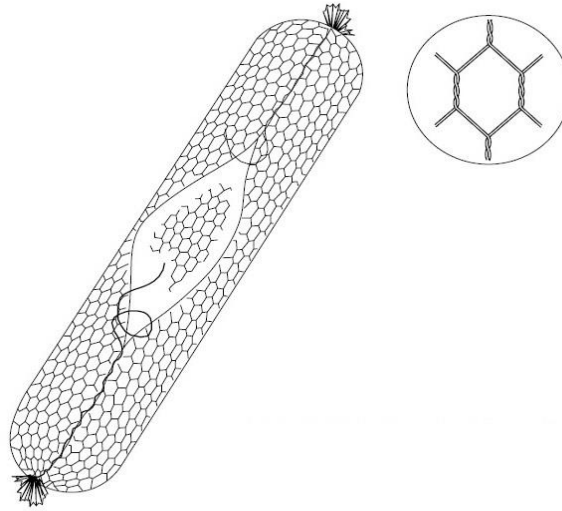
Estos gaviones son formados a partir de un único panel de malla hexagonal de doble torsión producida con alambres de bajo tenor de carbono revestidos con Galfan® y adicionalmente protegidos por una camada continua de material plástico (aplicada por extrusión).

Para los cerramientos de las extremidades del gavión tipo saco, cada unidad es fabricada con alambres de acero insertados alternamente entre las penúltimas mallas de los bordes libres. Tales alambres refuerzan cada elemento y confiere más rapidez durante la instalación. Debido al contacto constante con agua cuya calidad, en general es desconocida, los gaviones tipo saco son producidos con malla hexagonal de doble torsión fabricado con alambres protegidos con liga zinc/aluminio y revestidos con material plástico, tornándolos eficientes para uso en marinas, ambientes contaminados y/o químicamente agresivos.

El llenado de los gaviones tipo saco puede ser hecho por sus extremidades o por los laterales, después de esta operación, ellos son aplicados utilizándose equipos mecánicos (grúas)

Los gaviones tipo saco son usados principalmente en obras de emergencias, en obras hidráulicas donde las condiciones locales requieren de una rápida intervención o cuando el agua no permite fácil acceso al lugar (instalaciones subacuáticas) o cuando el suelo de apoyo presenta baja capacidad de soporte.

ESQUEMA DEL GAVIÓN TIPO SACO
FIGURA N° 1.1



Fuente: “Diseño de obras hidráulicas con gaviones” Maccaferri.

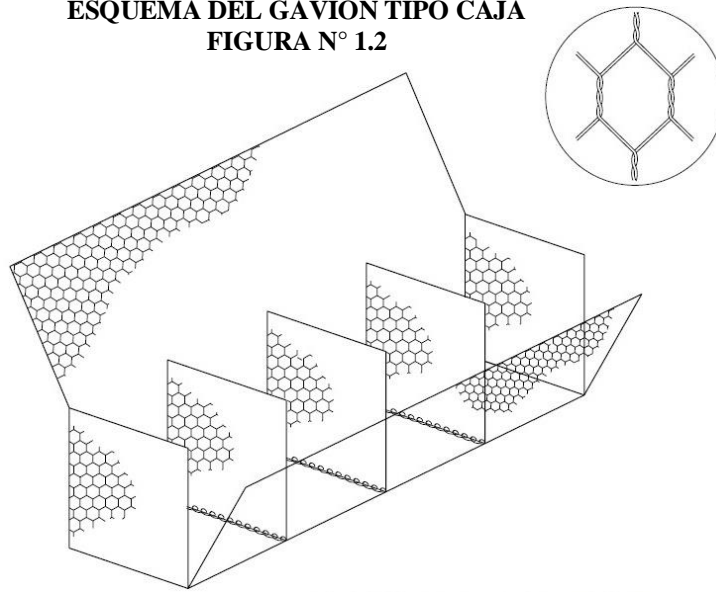
1.6.2.5. Concepto de gavión tipo caja galvanizado:

Son estructuras monolíticas producidas con malla de hilo de acero dulce galvanizado y cocido en doble torsión, amarrados en sus extremidades y vértices por hilos de diámetro mayor, rellenos con piedras, tornándolo permeable, flexible y de gran durabilidad y resistencia. Utilizados en aplicaciones geotécnicas, hidráulicas y de producción ambiental, en sustitución a grandes bloques de piedra que son de difícil transporte y manejo.

1.6.2.6. Concepto de gavión tipo caja Galfan®:

Los gaviones tipo caja son estructuras en forma de prisma rectangular fabricados con malla hexagonal de doble torsión producida con alambres de bajo tenor de carbono revestidos con Galfan®. Los gaviones son subdivididos en células por diafragmas cuya función es reforzar la estructura. Toda la malla, con excepción de los diafragmas, es reforzada en sus extremidades por alambres de diámetro mayor que los de la malla para fortalecerlos y facilitar su montaje e instalación.

**ESQUEMA DEL GAVIÓN TIPO CAJA
FIGURA N° 1.2**



Fuente: “Diseño de obras hidráulicas con gaviones” Maccaferri.

1.6.2.7. Concepto de gavión revestido con PVC:

Son estructuras monolíticas producidas con malla de hilo de acero dulce galvanizado y cocido en doble torsión. Los alambres que forman la malla de los gaviones, además del revestimiento con liga zinc/aluminio, también puede ser recubiertos por una capa continua de PVC (Poli cloruro de Vinilo) esto le confiere la protección contra la corrosión y los tornan eficientes para uso en aguas incrustantes, ambientes contaminados y/o químicamente agresivos a su revestimiento metálico.

1.6.2.8. Concepto de gavión caja fuerte[®]:

Los gaviones tipo caja fuerte se diferencian de las soluciones convencionales; por tener su paramento frontal y uno de sus laterales reforzados por el uso de malla hexagonal confeccionada con alambres de mayor diámetro que los utilizados en la solución tipo caja, transmitiéndole a esa solución una mayor resistencia a la abrasión, tornándolas especialmente indicadas para obras hidráulicas

próximas a taludes acentuados y cursos de agua con gran cantidad de material en suspensión y altas velocidades de flujo.

Además del revestimiento con liga Galfan[®], los gaviones tipo caja fuerte son confeccionados con alambres recubiertos por revestimiento plástico en PVC, resultando en elementos de mayor resistencia a la corrosión y con mayor resistencia mecánica contra materiales en suspensiones siendo especialmente indicados para obras hidráulicas y ambientes marítimos contaminados o químicamente agresivos.

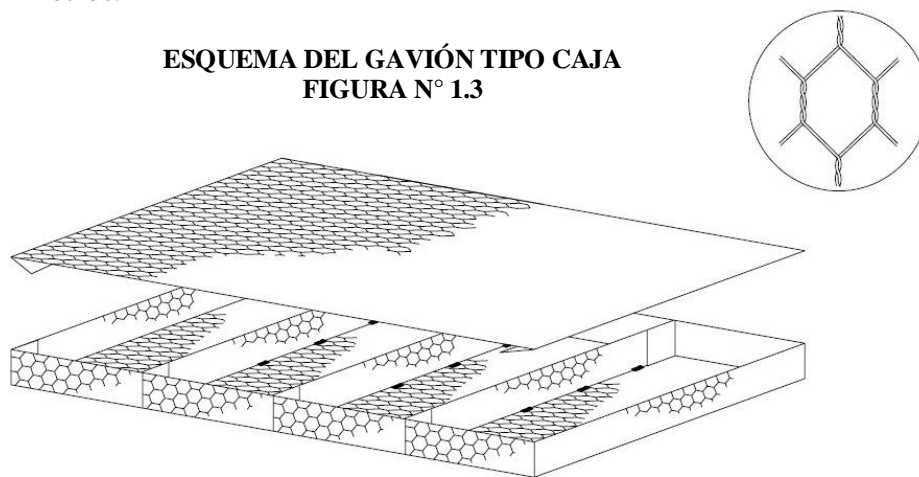
Las cajas se fabrican con mallas de triple torsión y escuadras tipo 8x10 cm, en alambre de acero con bajo contenido de carbono, de 2,7 mm de diámetro, con 270 gramos de zinc en tres capas de galvanizado. Las aristas de los gaviones se refuerzan con alambre de 3,4 mm, y se utiliza alambre de 2,2 mm para el amarre de las cajas. Los gaviones pueden tener diferentes formas, es muy frecuente la forma de cajas, que pueden tener largos de 1,5, 2, 3 y 4 metros, un ancho de 1 metro y una altura de 0,5 ó 1,0 metros.

1.6.2.9. Concepto de colchón reno[®]:

Los colchones reno[®] son estructuras rectangulares caracterizadas por su gran área y pequeño espesor, fabricados con malla hexagonal de doble torsión producido con alambres de bajo tenor de carbono revestido con recubrimiento Galfan[®] y protegidos, adicionalmente, por una camada continua de material plástico (aplicada por extrusión). Los colchones reno[®] son subdivididos en células por diafragmas de pared doble, espaciados en intervalos regulares. Su base, paredes laterales y de cierre (extremidades) son formadas a partir de un único plano continuo de malla, obteniéndose un recipiente multicelular abierto. Para fortalecer la costura, todas las extremidades de los planos de malla son reforzadas con alambre de mayor diámetro o utilizado para la fabricación de malla.

Cuando los colchones reno® son instalados y llenados con piedra, se tornan elementos drenantes armados que, debido a su flexibilidad y pequeño espesor, son especialmente indicados en la construcción de revestimiento para canales, presas de suelo, escaleras disipadoras y otros.

ESQUEMA DEL GAVIÓN TIPO CAJA
FIGURA N° 1.3



Fuente: “Diseño de obras hidráulicas con gaviones” Maccaferri.

1.6.2.10. Concepto de conservación de suelos:

La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la cuenca provoca el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existe en la parte baja.

1.6.2.11. Concepto de control de ríos:

En ríos, el gavión acelera el estado de equilibrio del cauce. Evita erosiones, transporte de materiales y derrumbamientos de márgenes, además el gavión controla crecientes protegiendo valles y poblaciones contra inundaciones.

1.6.2.12. Concepto río con pendiente estabilizada:

Es un río que ha alcanzado aparentemente un estado aproximado al de equilibrio entre transporte y aportación de sedimentos (sólidos).

1.6.2.13. Concepto río encajonado:

Es un río que ha excavado su cauce en el lecho de un valle muy cerrado.

1.6.2.14. Concepto río estable:

Es un río que en su conjunto mantiene sus pendientes, profundidades y dimensiones de cauce sin elevar o descender su lecho.

1.6.2.15. Concepto río fangoso:

Es un flujo de agua en el que, por estar fuertemente cargada de agua y residuos, la masa fluyente es espesa y viscosa.

1.6.2.16. Concepto río kárstico:

Es un río que tiene su origen en una fuente kárstica, o que corre por una región kárstica.

1.6.2.17. Concepto río subterráneo:

Una masa de agua en movimiento que pasa a través de un intersticio de gran tamaño, tal como una caverna, cueva o conjunto de grandes intersticios en comunicación.

1.6.2.18. Concepto de espigón:

Son estructuras transversales a la corriente, uno de cuyos extremos está en la margen del río. Su propósito es alejar de la orilla hacia el cauce del río las líneas de corriente con alta velocidad y evitar así que el material de la margen pueda ser erosionado y transportado por el

flujo del río. Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen en los espacios entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla.

Los espigones están a la orilla en contacto con el flujo lateral del río, o empotrados desde una cierta distancia dentro de la margen del río.

1.6.3. Marco espacial.-

La delimitación espacial está dada por el Sector El Altillo en la Comunidad de Calamuchita, ubicado en la provincia Avilés, en el Departamento de Tarija.

1.6.4. Marco temporal.-

Considerando una vida útil de las estructuras de gavión del orden de 20 años, en condiciones ideales.

1.7. Marco metodológico.-

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizarán los métodos que se consideran más apropiados para el progreso del presente trabajo, estos métodos serán los del orden general y particular los propios que se enuncian a continuación:

1.7.1. Métodos generales.-

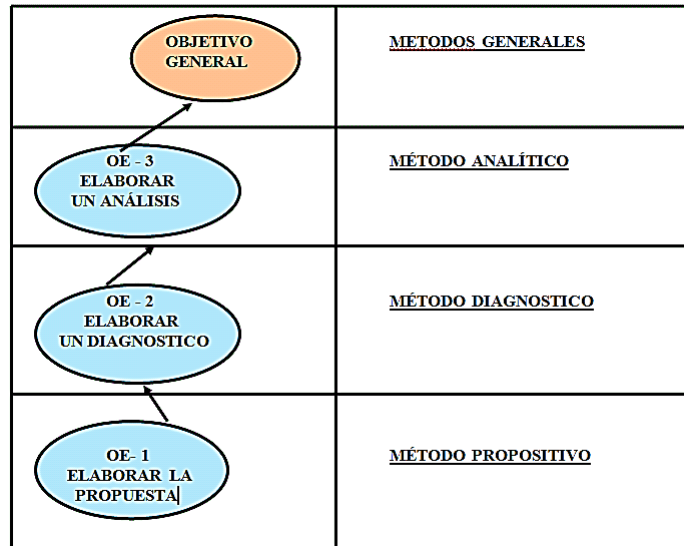
- Analítico.
- Hipotético.

1.7.2. Métodos Particulares.-

- Análisis.
- Diagnóstico.
- Propósito.

A continuación se presenta el cuadro de aplicación de métodos el mismo guiará para la elaboración de los objetivos y los capítulos de la presente investigación.

**APLICACIÓN DE MÉTODOS
CUADRO N° 1.1**



Fuente: Elaboración propia.

1.7.3. Técnicas e instrumentos.

En lo que refiere a técnicas e instrumentos utilizaremos como fundamentales las que se considera más adecuadas para la investigación, las mismas se detalla en el cuadro siguiente:

**TÉCNICAS E INSTRUMENTOS BASE PARA LA INVESTIGACIÓN
CUADRO N° 1.2**

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL	FICHAS BIBLIOGRÁFICAS
OBSERVACIÓN CIENTÍFICA	REGISTRO DE O.C.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS FLEXIBLES DE GAVIÓN

2.1. Descripción, localización y ubicación del proyecto de investigación.-

2.1.1. Antecedentes.-

En el río Camacho se han ejecutado varias obras de protección de márgenes con muros de gavión en los últimos años, en su mayoría financiadas por programas estatales mediante el Municipio y la Gobernación del Departamento de Tarija – Sección Uriondo y en menor medida por otras instituciones y por iniciativas particulares.

Es así; que tomando como ejemplo, en el tramo comprendido entre el Angosto de Saladillo y Calamuchita, en el sector de La Compañía se observan obras de diferente edad construidas con gaviones, piedras y neumáticos y también piedras y ramas, ejecutadas por los propietarios de las tierras.

Realizada la visita por estas márgenes y en especial en la zona identificada para el presente proyecto, nos permite constatar que los gaviones y en general las defensas, se encuentran destruidas o dañadas, ello muestra que la disposición de las obras o el esquema de solución presentan deficiencias.

Estas deficiencias son las que analizaremos en 3 sectores estudiados por su importancia, y sobre todo su comportamiento y respuesta, para ello se considera los gaviones emplazados en el sector en riesgo denominado El Altillo en Calamuchita, gaviones emplazados recientemente en Calamuchita en confluencia con el río Guadalquivir y los gaviones construidos en La Higuera cercanos al puente del mismo nombre.

Los gaviones de “La Higuera” fueron elegidos tomando en cuenta su proximidad a la zona, como así también las condiciones especiales que se consideraron para su diseño y construcción debido a la confluencia de dos

quebradas importantes que confluyen una frente a la otra, Rujero y Colón, el cauce del río tiende a localizarse en una u otra margen de acuerdo a la magnitud de las crecidas de una u otra quebrada.

El sector desde La Higuera hasta Calamuchita presenta problemas de cambios del cauce por las corrientes de las quebradas antes mencionadas y la existencia del estrangulamiento del cauce producido por el puente, problemas que se agudizan por la rápida habilitación de las tierras con cultivos de vid, creando grandes dificultades para el ordenamiento del cauce y protección de las márgenes.

El análisis de estas estructuras permitirá evaluar su estado actual y contrastarlo con el proyectado para su vida útil, y así también identificar los agentes pasivos y activos que intervinieron para valorar el estado que presentan y así proponer la mejor alternativa para el emplazamiento de muros de gavión en el sector en estudio.

2.1.2. Descripción de la zona del proyecto de investigación.-

Actualmente, del total de hectáreas que se encuentran en la rivera de la comunidad de Calamuchita, la mayoría cuentan con gaviones que se ejecutaron hace algunos años atrás, en algunos casos y otros que se ejecutaron recientemente pero que aún no satisfacen los requerimientos de la comunidad, también se han efectuado encauces con maquinaria pesada y se observa la construcción de defensivos rústicos con piedra y palizada a fin de prevenir de alguna manera las crecidas del río Camacho, que particularmente en este tramo en estudio se identificó como un sector en riesgo. La falta de obras de protección de márgenes estables y eficientes, ocasionan las pérdidas de terreno y de cultivos agrícolas, y hace que algunos terrenos disponibles no sean aprovechados de manera óptima.

2.1.3. Localización del proyecto de investigación.-

El proyecto se encuentra localizado en el sector denominado “El Altillo” en la Comunidad de Calamuchita del Municipio de Uriondo, perteneciente a la Primera Sección de la Provincia Avilés del Departamento Autónomo de Tarija (ver **FIGURAS 1, 2, 3, 4, 5** en **ANEXO 1** Mapas de ubicación geográfica y Croquis de acceso).

2.1.4. Vías de acceso.-

La comunidad de Calamuchita se ubica aproximadamente a 32 Km. de la ciudad de Tarija al sureste de la Provincia Avilés en el Cantón del mismo nombre.

Desde la ciudad de Tarija hasta El Valle de la Concepción se cuenta con una carretera pavimentada de 25 Km, de los cuales 16 Km corresponden a la red fundamental y 9 Km a la red secundaria.

El área del proyecto ubicada en el sector “El Altillo” se vincula a la carretera principal Calamuchita-El Valle de la Concepción mediante un camino de acceso que se mantiene transitable durante todo el año. El tiempo de llegada aproximadamente es de 35 a 40 min. en vehículo.

De Concepción – La Higuera – Calamuchita - Muturayo se tiene asfaltado.

Las comunidades tienen transporte público diario lo que facilita el traslado ya sea de pasajeros o en algunos casos de cargas en pequeños volúmenes hacia el centro de consumo importante, que es la ciudad de Tarija.

El costo de transporte para llegar a las distintas comunidades es de 5 Bs. por persona y de 3 Bs. por Quintal. (Ver Figura 4 en anexo 1 Mapas de ubicación geográfica y Croquis de acceso).

2.2. Identificación de situaciones potenciales de riesgo.-

La construcción de defensivos también causa cambios y estos son más grandes si el muro de gavión se efectúa solamente con un propósito local y la obra no tiene el tamaño y la disposición adecuados.

Las crecidas del río, no solo causan destrucción de las márgenes sino que provocan inundaciones de las terrazas recientes o más bajas, con una alta frecuencia. Al parecer a lo largo de las márgenes del río Camacho, se quiso evitar este fenómeno construyendo estructuras altas, con muros de gaviones del orden de 3 metros de altura, característica que no parece ser la adecuada, pues se observa su volcamiento en la mayoría de los casos debido a la inestabilidad producida por la socavación en la base y se observa también, que los gaviones fueron construidos sin las protecciones necesarias, tanto de las fundaciones (colchonetas + geotextil) como las de los muros.

Las protecciones con colchonetas son efectivas cuando se estima adecuadamente la magnitud de la socavación y el tamaño y cantidad del material de arrastre. El dimensionamiento es complejo y difícil, y este es aún más complicado a medida que la altura de la estructura es mayor. En cuanto a las protecciones de los muros éstas se refieren fundamentalmente a los rellenos de la parte aguas abajo o de la parte posterior del mismo. Estos aspectos al parecer no han tenido la atención del caso, salvo en los gaviones en La Higuera donde se observa que además reforestaron la parte posterior de los muros de gavión con Álamos, los cuales evidentemente ayudan a la estabilidad de los cuerpos de gavión.

2.3 Parámetros de diseño.-

2.3.1 Caudales de diseño.-

En los proyectos de control del agua, donde el diseño generalmente está relacionado con eventos extremos de corta duración, tales como los caudales pico instantáneos en una creciente, la escala del diseño hidrológico o el caudal de

diseño, es usualmente ligado a la consideración del costo y la seguridad que se desea obtener.

Existen comúnmente tres formas para determinar el caudal de diseño que son; una aproximación empírica, un análisis de riesgo y un análisis hidroeconómico.

La aproximación empírica, considera una magnitud del 50 a 100% mayor que la máxima creciente registrada en los últimos 25 años. Esta forma de estimar el caudal de diseño es inadecuada por las experiencias obtenidas, por lo que en el presente estudio no es aplicada.

El análisis de riesgo, se considera el riesgo hidrológico natural de falla, que se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

donde:

R = probabilidad que por lo menos ocurra una vez en “n” años

T = período de retorno en años

n = Vida útil de la estructura en años

Considerando una vida útil de las estructuras de 20 años y un período de retorno de 20 años, el riesgo obtenido aplicando la ecuación anterior, es de 64%, ósea que la probabilidad que el caudal no sea mayor al de diseño en el período de 20 años es de $1 - 0,64 = 0,36$ ó 36% y para un periodo de retorno de 50 años el riesgo obtenido es de 33% y la probabilidad que no sea mayor es del 67%.

El riesgo de 64% es alto y generalmente es recomendado un límite inferior para éste tipo de obras, esto es debido a la ausencia de registro de datos de crecidas, puesto que un riesgo mucho menor supone obras de dimensiones mayores.

Para el análisis hidroeconómico del caudal de diseño es necesario disponer de la naturaleza probabilística de un evento hidrológico, así como el daño que

resultaría si este ocurre, sobre un rango posible de eventos hidrológicos. Este método de determinación del caudal de diseño, no es posible aplicarlo por la carencia de una serie histórica de caudales máximos y de los daños que produjeron.

Por todo ello, la aceptación de un riesgo de 64%, obtenida para una vida útil de 20 años y un período de retorno de 20 años, será la base de cálculo de los defensivos.

2.3. Caudales máximos.-

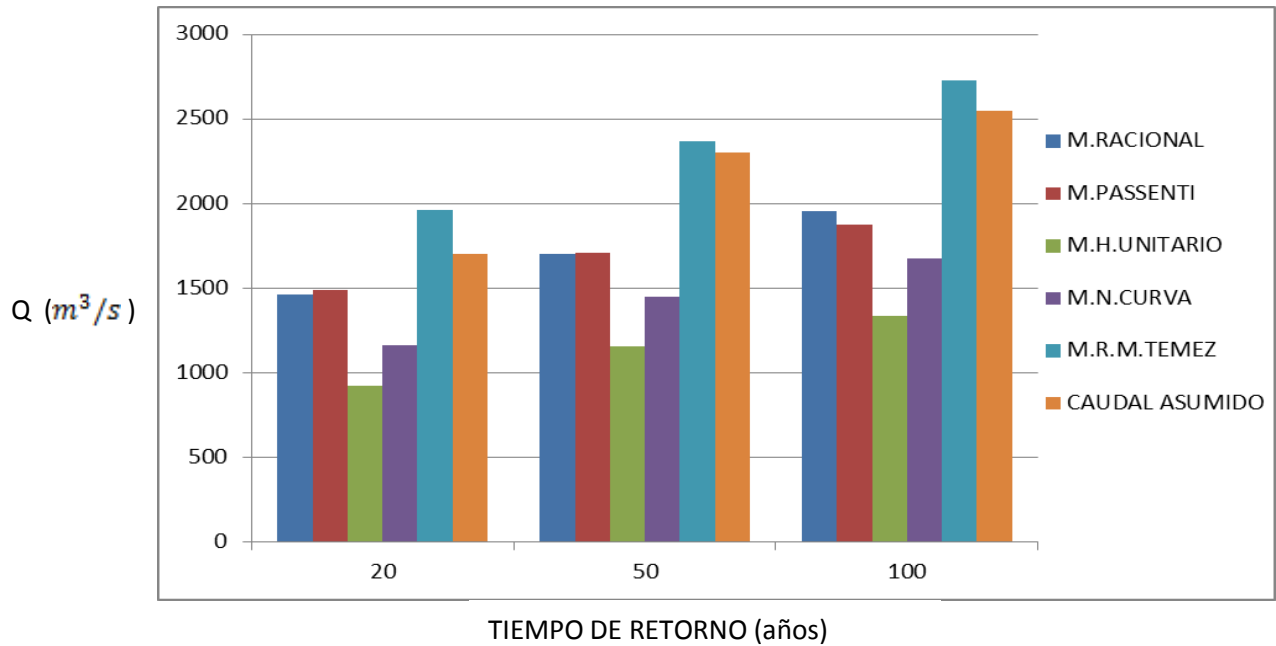
Según los anexos Estudio Hidrológico y Estudio Hidráulico del presente proyecto, los caudales de diseño para las estructuras de gavión se muestran en el CUADRO N° 2.3 y en la FIGURA N° 2.4.

CAUDALES MAXIMOS
CUADRO N° 2.3

DETERMINACIÓN DE CAUDALES	PERIODOS DE RETORNO		
	20	50	100
MÉTODO RACIONAL (m^3/s)	1462,02	1699,65	1954,47
MÉTODO PASSENTI (m^3/s)	1488,96	1710,758	1878,542
MÉTODO HIDROGRAMA UNITARIO (m^3/s)	923,91	1154,10	1333,32
MÉTODO NUMERO DE CURVA (m^3/s)	1161,97	1451,47	1676,87
MÉTODO RACIONAL MODIF. POR TEMEZ (m^3/s)	1.962,67	2.371,64	2.727,21
CAUDAL ASUMIDO (m^3/s)	1700	2300	2550

Fuente: Propia.
Elaboración: Propia.

CAUDALES MAXIMOS
FIGURA N° 2.4



Fuente: Propia.
Elaboración: Propia.

2.4. Análisis de agresividad del agua y determinación del índice de Langelier para El Altillo – Calamuchita.-

Ciertas aguas naturales pueden corroer metales, calizas, cemento y productos derivados (materiales de la construcción, hormigones, etc.), esta corrosión más particularmente llamada agresividad, depende principalmente de dos factores de entre los tres siguientes: anhídrido carbónico libre, alcalinidad y pH.

Numerosos estudios tratan el problema de la agresividad de las aguas naturales a través de estudios, el objetivo de estos estudios ha sido de interpretar los resultados por medio de gráficas para la agresividad y determinar la mejor manera de corregirlo, entre ellos se encuentra el grafico de Hoover y Langelier, la fórmula de Langelier permite determinar el índice de agresividad.

Para el cálculo del Índice de Langelier se considera los siguientes factores en el siguiente cuadro:

**FACTORES PARA EL CALCULO DEL INDICE DE LANGELIER
CUADRO N° 2.4**

TEMPERATURA		DUREZA		ALCALINIDAD	
°C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuentes: www.hanna.es / Calidad del agua Índice de Langelier.

El índice de Langelier se usa para determinar el equilibrio del agua:

- Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.
- Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva.
- Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante.

El análisis de agresividad realizado en RIMH (Laboratorio de Aguas, Suelos, Alimentos y Análisis Ambiental) ANEXO 7 - ESTUDIO DEL AGUA. Una vez determinado el pH, TEMPERATURA, DUREZA y la ALCALINIDAD de la muestra de agua se procede al cálculo del Índice de Langelier como sigue:

$$I.L. = pH + TF + HF + AF - 12,5$$

$$I.L. = -0,97$$

El resultado del “Índice de Langelier” para el sector en estudio en “EL ALTILLO” es de **-0,97**, el balance nos confirma que el agua es altamente

corrosiva con sus concernientes efectos y se recomienda que la verificación sea constante durante el año hidrológico.

Al confirmarse que el agua es altamente corrosiva en especial en la época del año en la que se realizó el muestreo y al ser este un factor vital para la determinación del tipo de estructura de gavión ideal para este sector se recomienda técnicamente que el alambre utilizado en la fabricación del gavión y en las operaciones de amarre y atirantamiento durante su construcción sea con alambre Galfan® y en las colchonetas o colchones reno® que estas cuenten con un recubrimiento de PVC, el análisis se presenta a detalle en el capítulo correspondiente al análisis de estructuras de gavión para el sector en estudio.

2.5. Análisis comparativo de estructuras flexibles de gavión presentes en la cuenca.-

En esta parte del presente trabajo de investigación plantaremos el procedimiento empleado para hacer el análisis de las estructuras de gavión presentes en la cuenca del río Camacho, emplazados cerca del sitio en estudio, se identificaron 3 sectores que a su vez pertenecen a 3 proyectos distintos, de diferentes características, son los siguientes:

- Gaviones en El Altillo- Calamuchita.- (Tipo: Gavión zincado pesado - galvanizado).
- Gaviones sobre el río Camacho en convergencia con el río Guadalquivir.- (Tipo: Gavión Galfan® - recubierto con PVC).
- Gaviones en La Higuera.- (aguas arriba del sitio en estudio).
(Tipo: Gavión Galfan® - Caja fuerte).

El procedimiento claramente establecido dentro de la mecánica de deformación de los gaviones, plantea métodos no destructivos para gaviones de malla

hexagonal, los cuales se han establecido gracias al trabajo del Ing. Domingo Antonio Bravo en una serie considerable de estudios sobre la deformabilidad en el Laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Construcciones y Obras civiles de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán.

Siendo una guía bien referenciada sobre el postulado de que en la práctica tradicional se tiende a dirigir la atención en forma errada hacia la importancia de las cargas de rotura (establecidas en las normas bolivianas NB 709,710,711,712,713 y 1224001) y a no dar importancia a las deformaciones, basándose en los ensayos de tracción donde la malla mantiene su ancho natural y que en la práctica esto solo sucede cuando la malla está en reposo, además los ensayos de tracción no explican porque en la práctica se observa que las mallas angostadas y ensanchadas en especial los que se han alargado soportan deformación longitudinales mucho mayores que las de los ensayos, ni considera el aumento de la resistencia de las mallas cuando se las angosta ni sobre la disminución de la resistencia cuando se las ensancha.

Es más que interesante este planteamiento basado en la observación y análisis y sobre todo al ser un método no destructivo, basado en la observación de la deformación de los gaviones que han trabajado a distintas sollicitaciones en distintas condiciones, este análisis sumado al de la corrosión del agua, nos ayudaran a identificar las características del comportamiento de los distintos tipos de gavión que se han emplazado en las riberas del río Camacho

Bajo estas premisas y lineamientos, se procedió al análisis respectivo de las deformaciones de los cuerpos de gavión cercanos a la zona en estudio.

**DEFORMACION LONGITUDINALES, TRANSVERSALES Y TANGENCIALES EN MALLA
GAVION DE TRIPLE TORSION GALVANIZADA. FIGURA N° 2.5**



Si bien en las pruebas de laboratorio se manejan distintas cargas, considerando el diámetro de los alambres, como así la abertura de la malla, para variar las cargas de rotura, lo que se observa en el campo es que independientemente del grosor del alambre y del tamaño del rombo, todos los gaviones sufren deformaciones parecidas siendo distintos tipos de mallas, como se respalda con el ensayo F058 titulado “*En la deformabilidad está la clave para el análisis de la utilización de mallas de alambre para gaviones*”

Las mencionadas pruebas de laboratorio ensayadas en probetas de ancho natural no señalan ningún estado de carga de un gavión, sus datos no son aplicables a gaviones de ningún tipo, ya que las deformaciones en el punto de rotura, son muy inferiores de las que se miden en gaviones deformados.

Por consiguiente afirmamos que los gaviones se deforman a volumen constante, así sucede cuando las mallas se angostan a medida que los gaviones se alargan, debido a las fuerzas de tracción, dado que las deformaciones se producen sin agregado ni quita de las piedras contenidas.

Lo representamos en el siguiente ejemplo, muy parecido a la realidad: Si las medidas iniciales de un gavión son: $4 \times 1 \times 1 \text{ m} = 4 \times a_1 \times b_1$, y se alarga un 14%, pasa a medir $4,56 \times b_2 \times h_2$. Debido a ese alargamiento, su sección transversal se

reduce en la inversa del 14% que es 88%. Consideremos que $b_2 = h_2$, entonces: $b_2 = h_2 = 0,94$ m, lo que significa que las mallas se angostan un 6% porque las piedras se adaptan a la forma del nuevo recipiente. Este ejemplo casi coincide con las observaciones hechas en campo y las afirmaciones señaladas líneas arriba. Producto de las observaciones en campo podemos confirmar que los gaviones ganan capacidad de deformación al deformarse, y que esto se debe a las torsiones y flexiones que sufren los alambres durante el proceso de tejido mecánico, y que si es que si no se permite la contracción transversal las mallas se rompen con deformaciones longitudinales menores al 12 %, si no existe esta restricción las fuerzas de rotura por tracción paralela a los alambres de las mallas se hacen mayores a medida que aumenta el angostamiento porque los vértices de los rombos o hexágonos se hacen progresivamente más agudos y el triángulo de fuerzas arroja una resultante mayor a la inversa, la fuerza de rotura en dirección transversal disminuye.

El angostamiento es posible porque los alambres de la malla están dispuestos en zig-zag formando un enrejado, lo cual descarga la tensión en las mallas y facilita un mayor alargamiento. Los alambres giran en sus nodos a manera de bielas con momento flector pequeño, y si aumenta la carga, las mallas siguen alargándose longitudinalmente y angostándose al través, un 6% más hasta romperse. Sin embargo, el proceso real tiene el límite muy inferior al que se desprende del ejemplo y es el colapso de las obras.

Luego del colapso, poco interesa saber si los gaviones están sanos, simplemente la obra ha perdido el perfil de diseño. Esto también desvirtúa la importancia del valor numérico de las cargas de rotura, Kg/m. lineal de los ensayos de tracción: se puede afirmar que los gaviones no se rompen por tracción.³

³ F355 R1 Ensayos no destructivos de gaviones de malla romboidal y hexagonal de tipo caja y saco. Domingo A.Bravo. Tucumán, Argentina.

2.6 Metodología para el diseño de Gaviones.-

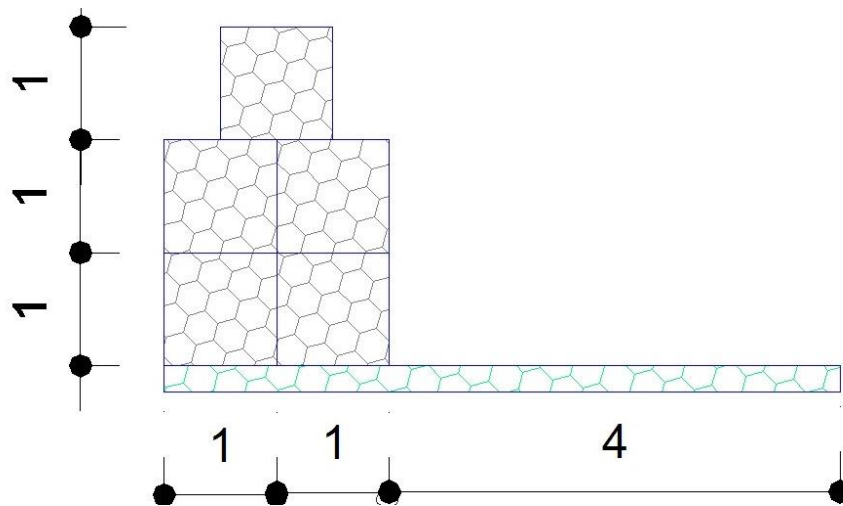
2.6.1 Protecciones en el curso principal del río Camacho.-

Los defensivos planteados se localizan en la margen derecha del río Camacho, y tienen la finalidad de evitar las inundaciones del área de El Altillo en la comunidad de Calamuchita y las áreas de cultivo adyacentes.

Actualmente existen en la zona de estudio, gaviones tanto de proyectos recientes como otros de bastante tiempo atrás y que ya han cumplido su vida útil, construidos en años anteriores, se identificó dos sectores críticos debido al colapso de los muros de gavión, el sector A de 150 m. y el sector B de 250 m.

Dada ésta situación, se plantea una solución que tiene el propósito de construir nuevos gaviones en los lugares identificados y unirlos a los existentes, empleándose para los tramos colchoneta en la base de 6 m. de largo y sobre de esta el gavión de 2 m. del Tipo A (sección 2:2:1) y del Tipo B (sección 2:1) como se muestra en los siguientes gráficos:

GAVION TIPO A
FIGURA N° 2.6



Fuente: Propia.
Elaboración: Propia.

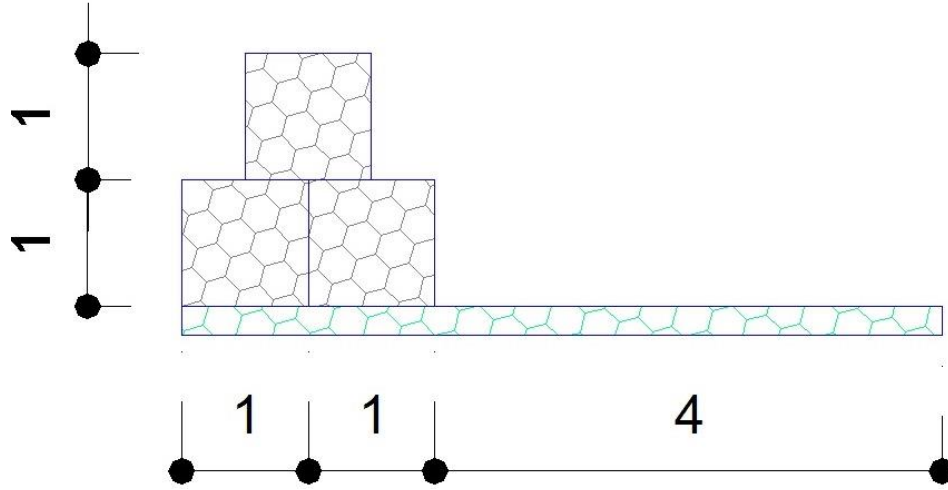
**SITIO DE EMPLAZAMIENTO GAVION TIPO A
FIGURA N° 2.7**



**SITIO DE EMPLAZAMIENTO GAVION TIPO A
FIGURA N° 2.8**



GAVION TIPO B
FIGURA N° 2.9



Fuente: Propia.
Elaboración: Propia.

SITIO DE EMPLAZAMIENTO GAVION TIPO A
FIGURA N° 2.10



En resumen la estructura de los gaviones para la zona El Altillo en la comunidad de Calamuchita se describe a continuación:

La altura del muro Tipo A será de 3 m, desde el nivel del lecho, la base del muro estará constituida por 2 capas de gaviones de 2 m. de ancho* 1 m. de alto, y colocada en la parte central superior la tercer capa, debido a que favorece la estabilidad del conjunto del cuerpo de gavión, como puede evidenciarse en la memoria de cálculo de la estabilidad. La colchoneta será de 0,23 m de alto y 4 m de largo, y 2 m. de ancho, colocada adosada y entorchada al gavión, no está contemplado el relleno estructural con material aluvial en la parte posterior debido a que no es necesario.

La altura del muro Tipo B será de 2 m, desde el nivel del lecho, la base del muro estará constituida por una capa de gavión de 2 m. de ancho* 1 m. de alto, y colocada en la parte central superior la segunda capa, debido a que favorece la estabilidad del conjunto del cuerpo de gavión, como puede evidenciarse en la memoria de cálculo de la estabilidad. La colchoneta será de 0,23 m de alto y 4 m de largo, y 2 m. de ancho, colocada adosada y entorchada al gavión, no está contemplado el relleno estructural con material aluvial en la parte posterior debido a que no es necesario.

El dimensionamiento de la colchoneta o colchón reno[®] se presenta en los anexos a detalle.

CAPÍTULO III

EROSIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

3.1. La erosión en un cauce fluvial.-

El material sólido que se incorpora a un cauce fluvial puede provenir de deslizamientos, desplomes, etc, e ingresar violentamente, en grandes cantidades, al cauce fluvial. Como consecuencia de la erosión hay un cambio de la pendiente original del terreno (pendiente endogenética). En algunos lugares hay remoción de materiales y en otros hay sedimentación.

Un río está continuamente seleccionando las partículas que erosiona y que sedimenta, y presenta además capacidad de transporte variable. El agua es el agente erosivo más importante y poderoso. El agua no sólo transporta partículas sólidas. También transporta sustancias químicas que contribuyen al proceso de erosión. El agua arrastra muchas veces tierras fértiles por lo que la lucha contra la erosión forma parte de la lucha contra la desertificación.

El hombre es el principal destructor de la naturaleza. La erosión es un proceso natural que puede agravarse por la acción del hombre. Es decir, que se puede pasar de una erosión normal o natural a una erosión inducida. Así por ejemplo, la deforestación, la destrucción de la vegetación, causa un aumento de la erosión.

Hidráulicamente, un río es un canal. Pero el comportamiento de un río es bastante diferente del que corresponde a la simplificación o esquematización que generalmente hacemos al estudiar el flujo en canales.

La cantidad de sólidos resultante de la erosión de la cuenca se expresa en unidades de volumen o peso por unidad de área de la cuenca y por unidad de

tiempo ($t/km^2/año$, $m^3/ha/año$, etc.). A este valor se le conoce con el nombre de Erosión Específica (E.E.).

3.2.Gasto sólido de fondo.-

La determinación del gasto sólido fluvial está, en primer lugar, fuertemente relacionada con las características de la cuenca. Específicamente con su erosionabilidad, y por lo tanto, con la producción de sedimentos. De aquí que la cuantificación del gasto sólido debe empezar por el conocimiento de la cuenca.

La erosión de las cuencas es un fenómeno de intensidad variable, en el tiempo y en el espacio. Esta es una de las causas por las que el gasto sólido es tan variable en el tiempo. El conocimiento de esta variabilidad, y de su origen, es fundamental para la evaluación del gasto sólido fluvial. Evidentemente que si no existe erosión de la cuenca, tampoco existirá transporte sólido en el río. Esto ocurre frecuentemente en los ríos, en algunas épocas del año. Por el contrario, si como consecuencia de los factores ya conocidos, la erosión de la cuenca es grande, también lo será el gasto sólido. Esta es la situación que se presenta en los meses lluviosos.

La determinación del gasto sólido está también relacionada con las características hidráulicas del río. Como consecuencia de estas características (pendiente, velocidad, tirantes, rugosidad, etc.), de la granulometría, y de otras propiedades del material sólido, éste se transportará como de fondo o de suspensión.

Toda corriente posee una capacidad de transporte sólido de fondo determinada. Lo que, en otras palabras, significa que un río no tiene una capacidad ilimitada para arrastrar sólidos. Se denomina “Capacidad de Transporte” a la máxima cantidad de material sólido de fondo, de una cierta granulometría, que una corriente puede transportar con un gasto dado. La capacidad de transporte constituye un máximo, que un río no siempre alcanza.

El gasto sólido que lleva un río en un momento determinado puede ser menor que su capacidad de transporte. Así, un río que escurre sobre un fondo constituido por piedras de gran tamaño puede tener como consecuencia de su velocidad una gran capacidad de transporte, pero en realidad pudiera no haber transporte sólido (debido al gran tamaño de las piedras que constituyen el lecho).

En un caso como éste se dice que el río se encuentra en estado de erosión latente. Este caso es frecuente en ciertos torrentes. Cuando un río transporta su máxima capacidad de sólidos se dice que se halla en estado aluvional o de saturación.

3.3.Gasto sólido en suspensión.-

El material sólido en suspensión transportado por un río, así como el de fondo, proviene de la erosión de la cuenca. La suspensión está constituida por las partículas finas, las que se distribuyen en toda la sección transversal del río y dan color al agua.

El movimiento de las partículas del fondo empieza cuando la fuerza tractiva, que imaginamos creciente, llega a un valor igual a la fuerza tractiva crítica, y la excede. El exceso de fuerza tractiva, con respecto a la crítica, es lo que causa el movimiento de las partículas del fondo y determina la intensidad del arrastre, que se caracteriza porque las partículas ruedan o se deslizan sobre el fondo.

Si la fuerza tractiva aumenta un poco más, lo que podría ocurrir por un aumento de caudal, algunas partículas se desprenden del fondo y avanzan temporalmente a saltos. Esta es la modalidad de transporte llamada saltación. Si la fuerza tractiva continua aumentando, lo que significa aumento de caudal, de velocidad, etc. llega un momento en el que la velocidad de corte será mayor que la velocidad de caída de las partículas, y éstas entran en suspensión.

La partícula se mantiene en suspensión a una altura de equilibrio entre la componente ascensional de la turbulencia y la velocidad de caída de la partícula.

En el río Camacho realizamos la toma de 5 muestras en el mes de noviembre debido a que ya se presentaron precipitaciones moderadas en la cabecera de la cuenca y considerando el criterio y las recomendaciones para tal efecto y considerando que existen 2 métodos que son los siguientes:

- Método de la evaporación.
- Método del filtrado.

Se utilizó el método del filtrado, cabe aclarar que ambos métodos pueden ser usados indistintamente sin detrimento de la calidad de la información, dicho argumento podría demostrarse con ensayos de turbidez en un laboratorio de agua, sometiendo las mismas muestras por distintos métodos, y validando los mismos con los valores respectivos de turbidez⁴.

Se debe tener en cuenta que si los valores de concentración de sedimentos suspendidos son superiores, confirmaría el uso indistinto de ambos métodos, en cambio si se trata de valores inferiores de concentración se aconsejaría el uso del método del filtrado para evitar el error que el método de la evaporación introduce con bajas concentraciones de sedimentos.

⁴Validación metodológica para la determinación de sedimentos suspendidos en ríos aluviales. Sartirana, Marta C. - Suarez, Paola A, - Gómez, Edgardo E. Orfeo, - Oscar Universidad Nacional del Nordeste Corrientes-Argentina 2006

3.4.Consideraciones del cálculo del gasto solido en suspensión y del gasto de fondo.-

Cabe mencionar que para la determinación experimental del gasto solido en suspensión y del gasto solido de fondo, supone un procedimiento normalizado y con equipos de precisión para la respectiva toma de muestras, ya que solo de esta manera los datos obtenidos podrán ser exactos.

Al no contar con los equipos necesarios para la toma de las respectivas muestras mínimas necesarias, se realizaron las estimaciones por los métodos mencionados en el ANEXO IV EROSION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, donde se aplicaron solo algunas estimaciones debido a la complejidad de las variables de algunos métodos planteados y las restricciones de los mismos donde se obtuvo los resultados arrojaron el siguiente rango de valores y se realizó una comparación con la estimación directa del gasto solido de fondo, realizado por la OTN dentro del PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA CUENCA DEL RIO CAMACHO, donde se pudo observar una gran variación de todos los resultados obtenidos, esto posiblemente se debe a que considerando las fórmulas para el cálculo de sedimentos, estas no toman en cuenta el fenómeno del acorazamiento, el mismo que se evidencio en el lugar de estudio, esto puede ser debido a que los autores consideran que siempre va a existir arrastre de sedimentos.

En el caso de la determinación del gasto solido en suspensión se realizaron los ensayos correspondientes en laboratorio y de igual manera se contrastaron con los resultados obtenidos por el método de cálculo, y se pudo evidenciar que los resultados obtenidos mediante muestreos en el campo donde se calculó una concentración media de sedimentos suspendidos en el río Camacho igual a 4 g/l que difieren considerablemente de los resultados obtenidos por medio de los métodos para el cálculo de sedimentos, debido a que los métodos fueron deducidos por sus autores en canales de laboratorio y a que las características de la mayoría de los materiales que usaron no son conocidos, además que no

especifican la temperatura del agua o el peso específico del material que han utilizado en sus experimentos, ni la forma como se recolectaban los distintos tipos de transporte por lo que se los puede considerar que son relativamente precisos ya que las características del material y del flujo van a variar.

Para la determinación respectiva de la ecuación de descarga sólida y para que los valores de esta, sean más confiables, se deberá realizar un mayor número de muestreos especialmente en las temporadas de crecida, ya que en esa época existe mayor producción de sedimentos, los mismos que no solo se originan por la erosión del cauce sino también por las contribuciones de la cuenca, y se recomienda localizar estos sectores que podrían estar produciendo sedimentos y aplicar técnicas de mitigación como por ejemplo, capacitaciones continuas a los agricultores, promover campañas de reforestación, etc.

Cito el texto referido a la cuantificación de sedimentos en la cuenca del río Camacho:

“En las áreas críticas de la cuenca del río Camacho, los sedimentos se originan fundamentalmente como consecuencia de la erosión laminar, derrumbes de los barrancos de las cárcavas, derrumbes de los taludes de las márgenes de los cauces y deslizamientos superficiales. Para la cuantificación de los sedimentos producidos en la cuenca, se utilizó la estimación directa propuesta por M. Djorovic, aplicable a cuencas con comportamiento torrencial. Los resultados obtenidos indican una producción de 2.054.655 m³ de sedimentos por año, que representan 2.163 m³/km²/año y corresponden a una categoría de erosión moderada.”

⁵ PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA CUENCA DEL RIO CAMACHO Tarija - Bolivia, 1999.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROYECCIONES DE APLICACIÓN.

4.1. Resultados.-

En base a los estudios realizados, necesarios para el dimensionamiento y producto del análisis de las estructuras de gavión existentes, ubicadas en las cercanías del lugar en estudio, se pudo evidenciar el comportamiento de cada una de ellas ante las crecidas del último periodo de lluvias y del presente periodo, siendo analizadas desde el punto de vista de la “mecánica de la deformación de gaviones” para así determinar individualmente su comportamiento, que se detalla a continuación:

4.1.1. Gaviones galvanizados Calamuchita-El Altillo.-

Los gaviones galvanizados (con recubrimiento de zinc) también denominados de galvanización pesada, son de uso muy generalizado en las subcuencas y en la cuenca del río Camacho.

Se identifica una situación particular en la comunidad de “La Higuera” ubicada aguas arriba del sector “El Altillo” en Calamuchita, que influye directamente en esta zona, debido a la confluencia con el río Camacho de dos quebradas tributarias de ambos márgenes (Qda Rujero y Qda Colón), considerando que de acuerdo a la magnitud de las crecidas del río o de las quebradas tributarias de una u otra margen la localización de la corriente cambia, afectando a una u otra de las márgenes, repercutiendo aguas abajo, es decir en el sector en estudio, el periodo de lluvias anterior localizo la corriente en el margen derecho deformando los gaviones presentes en la zona de El Altillo en Calamuchita y debido al alto índice de corrosión, y a que las mallas galvanizadas no presentan protección ante este efecto no considerado en el diseño del proyecto, es que se evidencia que en su totalidad del colchón reno y gaviones galvanizados

que fueron deformados por las crecidas del anterior periodo y en presencia constante de agua agresiva, fueron factores suficientes y decisivos para el colapso inminente de los sectores A y B que se analizaron.

SECTOR “A” EL ALTILLO-CALAMUCHITA. GAVIONES DEFORMADOS, NIVEL INFERIOR VISIBLEMENTE CORROÍDO. COLCHÓN RENO INEXISTENTE. FIGURA 4.11



SECTOR “A” EL ALTILLO-CALAMUCHITA. GAVIONES DEFORMADOS, NIVEL SUPERIOR VISIBLEMENTE CORROÍDO. NIVEL INFERIOR NO VISIBLE, COLCHÓN RENO INEXISTENTE. FIGURA 4.12



4.1.2. Gaviones “Galfan® + pvc” Calamuchita confluencia río Camacho con río Guadalquivir.-

El proyecto “Pampa la villa-San José de Charaja” contempla en su ejecución el uso de mallas Galfan® plastificados de 2.7 mm, es decir con un recubrimiento pvc, tanto en el colchón reno como en los cuerpos de gavión, por estos motivos su resistencia pasiva a la corrosión está garantizada. Estos gaviones al haberse ejecutado recientemente, el presente será el primer periodo de lluvias, por esta razón, en su estado inicial no ha sufrido deformaciones al estar las mallas en reposo.



CALAMUCHITA PRIMERA LLEGADA DEL RÍO CAMACHO Y RÍO GUADALQUIVIR 01/11/2013, SE APRECIA LA RETENCIÓN DEL MATERIAL FINO EN EL INTERIOR DEL COLCHÓN RENO, DEBIDO A LA PRESENCIA DE GEOTEXTIL EN SU INTERIOR. FIGURA 4.13

4.1.3. Gaviones “Caja fuerte®” La Higuera.-

Considerando el lugar crítico en donde se encuentran emplazados (márgenes puente La Higuera), los cuerpos de gavión sufrieron deformaciones imperceptibles, aun considerando que se construyeron el año 2008 y tampoco es posible apreciar deterioro alguno por efecto de la corrosión, debido a que estos cuerpos de gavión son del tipo “Caja fuerte®” (Galfan® 3.4 y 4.4 mm pared frontal) y el correcto dimensionamiento respecto a la altura sobre el lecho, sumado al detalle que se evidencia que en la parte posterior de los gaviones luego de su ejecución se reforesto con árboles de Álamo, lo cual se considera fue una acción acertada a favor de la estabilidad, actualmente las colchonetas no son visibles debido a un trabajo reciente de encauce realizado antes del periodo de lluvias financiado por la gobernación del departamento de Tarija - sección Uriondo, a través de la “empresa Erika” además se tiene entendido que los colchones reno® contaban con geotextil por debajo de la colchoneta considerado para el arrastre de finos y ayudar a la disminución de la inestabilidad.

**LA HIGUERA UBICACIÓN DE LOS GAVIONES
CONSTRUIDOS TIPO CAJA FUERTE® FIGURA 4.14**



4.2. Análisis y depuración de alternativas propuestas.-

Las alternativas propuestas son las siguientes:

4.2.1. Alternativa 1.-

La primera alternativa consiste en la construcción de estructuras escalonadas de Gavión 2*1*1 m. de 8*10 cm. galvanizado + colchón reno de 8*10 plastificado, de longitudes variables, con secciones variables, con una fundación superior a la altura de socavación determinada, con una base que cumpla con las condiciones de estabilidad y una altura que pueda soportar las crecidas máximas en el sector en estudio de la cuenca del río Camacho.

La alternativa si bien cumple con las condiciones de estabilidad y seguridad para la protección de las márgenes en el sitio en estudio, es desechada por presentar condiciones técnicas desfavorables como ser una mayor vulnerabilidad por la falta de protección contra la corrosión en el cuerpo del gavión (ya que el colchón reno es plastificado precisamente considerando el efecto de la corrosión por sumersión continua) si este llegara a deformarse debido a que existe un alto riesgo por no tener en cuenta la protección al desgaste producido por el arrastre de finos, provocaría así condiciones de inestabilidad y si el cuerpo de gavión pasa a estar en contacto permanente con el agua, al no tener protección contra los ataques pasivos, y considerando el debilitamiento de la estructura debido a las deformación por alargamiento producido por la fuerza de tracción acompañado de la contracción de su sección transversal, este colapsaría por el desgaste corrosivo infringido a la malla, lo que supondría un colapso total en menor tiempo del cuerpo de gavión.

4.2.2. Alternativa 2.-

La segunda alternativa consiste en la construcción de estructuras escalonadas de Gavión 2*1*1 m. de 8*10 Galfan[®] + pvc + colchón reno de 8*10 plastificado, de longitudes variables, con secciones variables, con una fundación superior a la altura de socavación determinada, con una base que cumpla con las condiciones de estabilidad y una altura que pueda soportar las crecidas máximas en el sector en estudio de la cuenca del río Camacho.

La alternativa si bien cumple con las condiciones de estabilidad y seguridad para la protección de las márgenes en el sitio en estudio, y protección activa y pasiva contra la corrosión en el alambre que conforma la malla del cuerpo del gavión y el recubrimiento termoplástico a base de pvc en el alambre del colchón reno, es desechada por presentar una mayor vulnerabilidad por la falta de protección a los arrastres de finos y provocando condiciones de inestabilidad y colapso en menor tiempo.

4.2.3. Alternativa 3.-

La tercera alternativa consiste en la construcción de estructuras escalonadas de 2*1*1 m. de 10*12 Caja fuerte (Galfan[®]) + colchón reno de 8*10 plastificado + geotextil, de longitudes variables, con secciones variables, con una fundación superior a la altura de socavación determinada, con una base que cumpla con las condiciones de estabilidad y una altura que pueda soportar las crecidas máximas en el sector en estudio de la cuenca del río Camacho.

Esta alternativa cumple con las condiciones de estabilidad y seguridad para la protección del sector en estudio, sobre el río Camacho y es seleccionada por presentar mejores características técnicas y mejores condiciones de funcionamiento, por contemplar protección Galfan[®] contra

la corrosión tanto en el colchón reno, como en el cuerpo del gavión, además de este ser reforzado para las condiciones específicas de este tramo del río Camacho, caracterizado por pendiente moderada y la gran cantidad de materiales sólidos de arrastre disminuyendo así el desgaste producido por el fenómeno de la abrasión de la malla metálica, además de contar con geotextil en el colchón reno siendo esta una protección adicional a los arrastres de finos y disminuyendo así las condiciones de inestabilidad.

4.3. Propuesta técnica.-

La alternativa seleccionada consiste en la selección de estructuras escalonadas de 2*1*1 m. de 10*12 Caja fuerte (Galfan[®]) + Colchón reno de 8*10 plastificada + geotextil, con las siguientes características:

Gavión tipo "A" longitud= 150 m. Sección 2:1

Colchón reno longitud= 6m.

Geotextil no tejido 100% Poliéster.

Gavión tipo "B" longitud= 250 m. Sección 2:2:1

Colchón reno longitud= 6m.

Geotextil no tejido 100% Poliéster.

4.4. Condiciones de aplicación.-

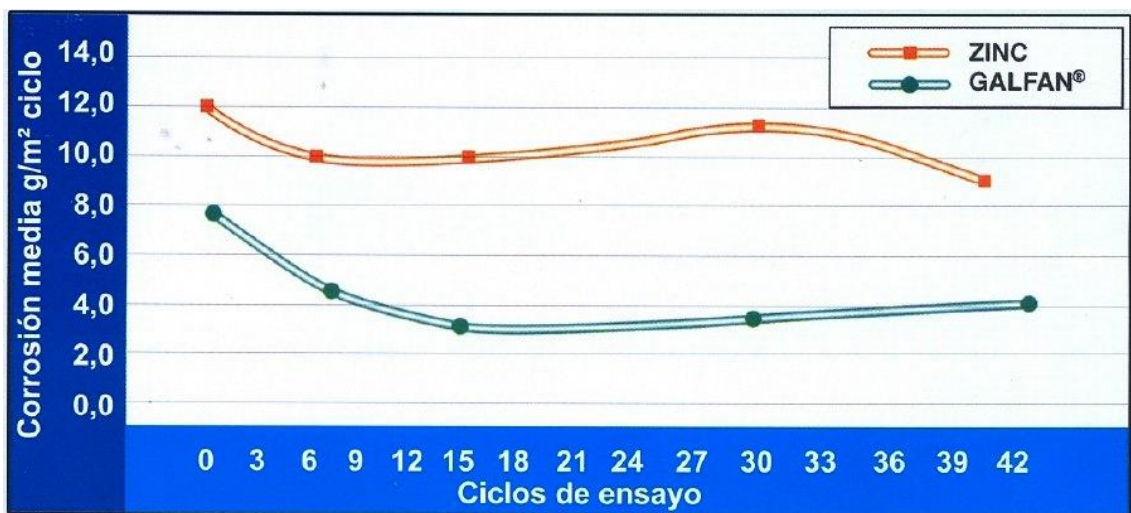
Las condiciones de aplicación para el uso del gavión reforzado denominado Caja fuerte[®] son referidas a que exista una pendiente moderada y/o una gran cantidad de materiales solidos de arrastre, debido a que bajo estas condiciones los gaviones están sujetos al fenómeno de la abrasión de la malla metálica, y para estas condiciones específicas existe el gavión que es más resistente al fenómeno de la abrasión que el gavión “normal” por lo tanto es especial para la aplicación en estructuras sujetas al transporte de materiales sólidos.

El gavión Caja fuerte[®] está fabricado en alambre con revestimiento Galfan[®] de mayor resistencia a la corrosión con protección hasta 5X mas Galfan[®].

El grafico presenta el comportamiento del revestimiento Galfan[®] comparado al comportamiento de la galvanización pesada en pruebas de corrosión acelerada realizadas por el I.C.P. Instituto de Corrosión y Protección (Perú) y por el IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Brasil) y presenta la pérdida de masa del revestimiento en función del tiempo de exposición a un ambiente rico de dióxido de azufre (Prueba Kesternich).

GALFAN[®] vs. GALVANIZADO

FIGURA 4.15



El Galfan[®] es una aleación de Zinc/Aluminio con la adición de Tierras Raras (Zn 5 Al MM). Esta aleación tiene como característica la unión de esos metales con la máxima fusión de sus micro cristales (aleación eutéctica), fenómeno que proporciona la disminución de los intersticios y la consecuente mejora de las características mecánicas y de resistencia contra la corrosión. La unión entre el zinc y el aluminio permite la suma de los efectos positivos de ambos metales, ósea la mayor resistencia contra la corrosión del aluminio y la mayor protección galvánica del zinc. La adición de Tierras Raras tienen por finalidad la eliminación del oxígeno y azufre (catalizadores del proceso de oxidación) de la aleación de las Tierras Raras se concentran sobre la superficie y forman una camada externa más densa y uniforme que aumenta la resistencia a la corrosión del revestimiento. Ensayos realizados comprueban que la resistencia a la abrasión del revestimiento Galfan[®] es 30% superior al revestimiento de zinc.

El revestimiento Galfan[®] es extremadamente dúctil, minimizando la posibilidad de formación de fisuras o desprendimiento del revestimiento en las torsiones del alambre durante la fabricación de la malla e instalación de los gaviones.

El colchón reno recubierto con un compuesto termoplástico a base de pvc se aplica en ambientes agresivos, donde los ataques pasivos corroen la malla de los colchones renos que no cuentan con este recubrimiento, disminuyendo las condiciones de estabilidad de toda la estructura de gavión, haciéndolo propenso a las socavaciones extremas y al inminente colapso.

El geotextil no tejido 100% poliéster, el MacTex[®] es un geotextil no tejido agujado producido con hilos de polipropileno o poliéster, distribuidos aleatoriamente e interligados. Sus principales aplicaciones son la de filtración, separación y protección aplicadas en varios tipos de obras de ingeniería.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.-

Los estudios realizados producto de un diagnóstico previo, demostraron su importancia primordial en la realización del presente proyecto de investigación, siendo la base para el diseño y selección técnica de la alternativa elegida.

Los análisis realizados a partir de los estudios, permitieron comprender la gran cantidad de variables que existen en la naturaleza, como así también los fenómenos que ocurren en la misma, y considerar que los investigadores en sus arduos trabajos, logran simular en un ambiente controlado lo que ocurre en la naturaleza, siendo estos esfuerzos solo de carácter referencial y estimativos, ya que es demasiado complejo realizar la cuantificación y magnitud de la fuerza de la naturaleza en un ambiente tan variado y que produce tanta fascinación, como son los ríos.

El análisis superficial del estado de las estructuras flexibles de gavión que fueron estudiadas en el presente trabajo, se realizó considerando la mecánica de deformación de los gaviones basados en la observación y análisis, que plantea ensayos no destructivos y sobre todo se impone como una guía bien referenciada sobre el postulado de que en la práctica tradicional se tiende a dirigir la atención en forma errada hacia la importancia de las cargas de rotura, sobre la cual están basadas las normas de calidad para los gaviones, básicamente en los ensayos a tracción, y menospreciando e ignorando por completo las deformaciones en especial las longitudinales que evidentemente superan los ensayos de rotura de los materiales y aun así no logran ser debidamente explicados por los ensayos de tracción.

Los estudios y comparaciones técnicas del estado de las estructuras de gavión cercanos a Calamuchita, se realizaron considerando que se trata de diferentes tipos de estructuras, las cuales fueron emplazadas con el mismo fin, que proteger las márgenes y fueron construidas en distintos periodos y con características técnicas propias y actualmente están expuestas a los agentes pasivos y activos que influyen en acortar drásticamente la vida útil de estas obras, los mismos que pueden ser cuantificados

solo estimativamente, siendo todas las variables relativas en el tiempo, tanto en duración como en ocurrencia.

En conclusión los objetivos planteados para este proyecto fueron cumplidos, los supuestos fueron comprobados con la observación física demostrable, y así el problema se relaciona con la enriquecida y variada teoría esperando que sea un incentivo que aliente más temas de investigación.

Recomendaciones.-

Se recomienda que en la fase del diseño de obras de contención flexibles conformadas por gaviones, se considere los factores activos y pasivos, en especial el mencionado en este proyecto que es el referido a la corrosión del agua, al ser un factor muy agresivo que debilita y destruye la malla tanto de gavión como de la colchoneta o colchón reno[®]. Si bien las condiciones críticas de la agresividad del agua se presentan en la época de estiaje, es importante señalar que los gaviones sufren deformaciones una vez que han trabajado, por consiguiente sufren asentamientos y alargamientos, estas deformaciones dejan expuesto al cuerpo del gavión a un contacto permanente con el agua, es por eso que recomendamos que no solo las colchonetas tengan protección contra la corrosión sino también las mallas que conforman el gavión.

También se recomienda que en la fase de diseño y elaboración de la propuesta se contemple el uso del geotextil en la parte interna de la colchoneta y no así por debajo de esta, debido a que pudo evidenciarse que el geotextil al estar en la parte interna del cesto de la colchoneta cumple a cabalidad la función de retener las partículas finas en su interior y así favorece el crecimiento de vegetación en pro de la estabilidad, y a su vez también protegen a la estructura de la abrasión, lo cual no ocurre cuando el geotextil es colocado por debajo de la colchoneta, y si bien este procedimiento constructivo es mucho más fácil y rápido, el colocado interno es recomendable y debería ser también normado para que se establezca en la construcción de estructuras de gavión.

GEOTEXTIL COLOCADO EN EL INTERIOR DE LA COLCHONETA**FIGURA 4.16**

El uso de mallas con recubrimiento de pvc en colchonetas y gaviones para ambientes agresivos, conlleva ciertas recomendaciones para su uso y cuidado, más que los gaviones tradicionales de zinc, que no los requieren a detalle, como ser, que en el transporte y manejo debe hacerse con mucho cuidado para evitar dañar el recubrimiento plástico de la malla, ya que fácilmente puede producirse un desprendimiento de este que es solo un recubrimiento, al igual que en el amarre y en especial en el procedimiento de torqueado, y no está demás mencionar que debe evitarse su contacto directo o indirecto con el fuego, al ser el pvc un material inflamable.